

**Earth, Environment and Life  
Sciences**Princetonlaan 6  
3584 CB Utrecht  
Postbus 80015  
3508 TA Utrecht[www.tno.nl](http://www.tno.nl)

T +31 88 866 42 56

F +31 88 866 44 75

[infodesk@tno.nl](mailto:infodesk@tno.nl)**TNO-rapport****TNO-060-UT-2011-01494****Beoordeling van reductiefactoren  
op de faalkans van atmosferische  
opslag tanks**

Datum	23 augustus 2011
Auteur(s)	Ing. J.M. Ham, Ir. H. Boot, Ir. J.H.A.M. Heerings
Aantal pagina's	62 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	4
Opdrachtgever	Rijkswaterstaat – Waterdienst / Emissiebeheer T.a.v. Ing. P. Kuiper Postbus 17 8200 AA Lelystad
Projectnaam	Faalkansanalyse toppingsscenario opslag tanks
Projectnummer	052.01355

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belang-hebbenden is toegestaan.

© 2011 TNO



# Inhoudsopgave

<b>Samenvatting</b> .....	<b>5</b>
<b>1 Inleiding</b> .....	<b>7</b>
<b>2 Doelstelling van het onderzoek</b> .....	<b>9</b>
<b>3 Generieke faalfrequenties en waardering van maatregelen</b> .....	<b>11</b>
3.1 Herkomst thans gehanteerde generieke faalfrequenties.....	11
3.2 Beoordeling veiligheid en integriteit van opslagtanks.....	13
3.3 Methodieken voor waardering van risicoreductie factoren door technische maatregelen of specifieke omstandigheden.....	13
3.3.1 Voorstel RIVM voor maatregelen binnen BEVI beoordelingen.....	13
3.3.2 Andere methodieken .....	14
<b>4 Historische data: incidenten met atmosferische opslagtanks</b> .....	<b>17</b>
4.1 Omvang van de steekproef, per faalmodus .....	17
4.2 Relevante incidenten en de oorzaken .....	17
4.2.1 Instantaan falen .....	18
4.2.2 Uitstroming in 10 minuten .....	18
<b>5 Beoordeling voorstel van BTT voor risicoreductie in specifieke situatie</b> ....	<b>21</b>
5.1 Identificatie en beoordeling van relevante directe oorzaken .....	21
5.2 Door BTT voorgestelde maatregelen .....	22
5.3 Toelichting bij enkele relevante oorzaken op basis van PGS 6.....	24
<b>6 Voorstel herziening faaloorzaken en risicoreductie</b> .....	<b>27</b>
6.1 Keuze waarderingmethodiek.....	27
6.2 Relevante directe oorzaken .....	28
6.3 Maatregelen tegen relevante oorzaken.....	30
6.4 Waardering kansreducerende maatregelen .....	31
6.4.1 Instantaan falen .....	31
6.4.2 Uitstroming in 10 minuten .....	36
6.5 Resulterende faalfrequenties .....	39
6.5.1 Instantaan falen .....	39
6.5.2 Uitstroming in 10 minuten .....	39
<b>7 Conclusies</b> .....	<b>41</b>
<b>8 Referenties</b> .....	<b>43</b>
<b>9 Verantwoording</b> .....	<b>45</b>

<b>Bijlage 1: Incidenten met atmosferische opslag tanks .....</b>	<b>47</b>
<b>Bijlage 2: Optreden van spills bij falen van atmosferische opslag tanks .....</b>	<b>49</b>
A. Instantaan falen.....	49
B. Uitstroming in 10 minuten .....	50
<b>Bijlage 3: Beoordeling van de kansbeperkende maatregelen, rapport Oranjewoud (Rapportage HIS Consult) .....</b>	<b>53</b>
<b>Bijlage 4: Beoordeling van constructieve maatregelen volgens EEMUA 159 (Rapportage HIS Consult) .....</b>	<b>57</b>

## Samenvatting

In opdracht van Rijkswaterstaat Waterdienst is een methodiek ontwikkeld om de voor milieurisico's relevante frequentie van de scenario's 'instantaan falen' en 'uitstroming in 10 minuten' van atmosferische opslagtanks af te leiden en om risico reducerende maatregelen voor deze tanks in een milieurisicoanalyse te waarderen. Het betreft de milieurisico's van belasting van het oppervlaktewater bij overtopping (buiten de tankput treden) van uitgestroomde vloeistof uit een tank. De methodiek is een uitwerking van een onderzoek naar waardering van maatregelen in het kader van de BEVI risicoberekeningmethodiek die recent door het CEV-RIVM is ontwikkeld.

Kenmerkende onderdelen van de methodiek zijn:

- Verdelen van de generieke faalfrequentie voor opslagtanks over de relatieve bijdragen van de verschillende, uit incidenthistorie afgeleide, faaloorzaken;
- Toepassen van deze verdeling op een installatiespecifieke situatie en, op basis van een analyse van de voor die situatie geldende relevantie van elk van de faaloorzaken, vaststellen van een specifieke faalfrequentie voor de betreffende opslagtank(s);
- Waarderen (kwantitatief) van de effectiviteit van risico reducerende maatregelen die aanvullend op de stand der techniek worden aangebracht;
- Berekenen van de resulterende frequentie van de beschouwde milieubelasting.

De methodiek is toegepast voor een praktijkcasus: een nieuw te bouwen tankenpark aan de Botlekhaven te Rotterdam. Door het bedrijf BTT en haar adviseurs zijn risico reducerende maatregelen voorgesteld die zijn verwerkt in de beoordeling door TNO. In aanvulling daarop zijn enkele nog te implementeren maatregelen van organisatorische aard gewaardeerd. De hiervoor gehanteerde waarderingen dienen te worden beschouwd als haalbaar onder de voorwaarde van de ontwikkeling en vaststelling van een optimaal plan van beheer, inspectie en onderhoud van de inrichting.

Voor deze situatie is berekend:

- De frequentie van instantaan falen na realisatie van maatregelen bedraagt  $2,1 \times 10^{-7}$  /jaar; dit is ruim een factor 20 lager dan de generieke frequentie voor atmosferische opslagtanks;
- De frequentie voor uitstroming binnen 10 minuten na realisatie van maatregelen bedraagt  $8,6 \times 10^{-7}$  /jaar; dit is ongeveer een factor 5 lager dan de generieke waarde.

De ervaringen met toepassing van de ontwikkelde methodiek voor de genoemde casus zijn positief. De methodiek kan verder worden uitgewerkt en wellicht worden geïmplementeerd in het aangewezen instrument voor berekening van milieurisico's, Proteus II.

Uit bestudering van de incidenthistorie is verder geconcludeerd:

- Niet in alle gevallen van incidenten met atmosferische opslagtanks die als 'instantaan falen' zijn aangeduid is sprake van uitstroming van de tankinhoud.

Uit de bestudeerde incidentbeschrijvingen is afgeleid dat de kans dat een spill van de opgeslagen stof optreedt die buiten de tankput treedt circa  $p = 0,2$  bedraagt. Deze bevinding kan echter voor de beschreven praktijksituatie niet (volledig) worden toegekend als een extra reductiefactor op de kans op overtopping. De risicoreductie is reeds gewaardeerd in de maatregelen ter voorkoming van de betreffende faalscenario's.

- Voor het scenario uitstroming in 10 minuten is de kans dat een spill van de opgeslagen stof optreedt die buiten de tankput treedt circa  $p = 0,07$ . Met deze factor zou in de milieurisicoanalyse wel aanvullend rekening gehouden kunnen worden.

Voor de generieke berekeningsmethodiek volgens Bevi kunnen deze conclusies aanleiding zijn tot een aanpassing van de frequentie van uitstroming en overtopping.

# 1 Inleiding

Bij de vergunningverlening voor inrichtingen die vallen onder het Besluit Risico's Zware Ongevallen (BRZO1999) heeft RWS Waterdienst een adviserende taak betreffende de mogelijke risico's voor het milieu ten gevolge van een accidentele spill van gevaarlijke of milieuverontreinigende stof die in het oppervlaktewater terecht kan komen. Voor de kwantificering en beoordeling van dergelijke milieurisico's wordt het risicoberekeningspakket Proteus II van Rijkswaterstaat gebruikt.

In de praktijk komt het geregeld voor dat het voorspelde risico (de kans op verontreiniging van een zeker watervolume) de 'norm' overschrijdt. Aanvullende maatregelen zijn dan nodig die hetzij de effecten van, dan wel de kans op het vrijkomen van de stoffen verkleinen.

De in (milieu)risicoanalyses gebruikte faalfrequenties voor (atmosferische) opslagtanks zijn generieke waarden. Voor het kwantitatief waarderen van risico reducerende (kans verlagende) maatregelen zijn geen gevalideerde methoden beschikbaar. Partijen betrokken bij het beheer, het toezicht en de handhaving, waaronder RWS Waterdienst hebben behoefte aan een methodiek om technische en organisatorische maatregelen te kunnen meewegen in de risicobeoordeling.

RWS Waterdienst is momenteel betrokken bij een vergunningsadvies voor een op te richten opslagtankenpark van BTT aan de Botlekhaven te Rotterdam. RWS Waterdienst beschikt op dit moment niet over voldoende kennis om goed onderbouwd een aantal voorgestelde (milieu-)risico reducerende maatregelen voor dit tankenpark te beoordelen.

RWS Waterdienst heeft TNO opdracht gegeven tot de uitvoering van een risicobeoordeling voor deze situatie en van de waardering van door BTT voorgestelde risico reducerende maatregelen. Voor beoordeling van de effecten van ontwerp, inspectie en onderhoud op de faalfrequenties heeft TNO de deskundigheid van HIS Consult B.V. bij dit onderzoek ingeschakeld. Kwantificering van de reductie van het milieurisico voor situaties als deze is nieuw. Bij succesvol toepassen van de beoordelingsmethodiek voor bedoelde concrete situatie bij BTT, kan deze uitgewerkt worden tot een generieke methodiek die ook toepasbaar is bij andere cases. Bij een update van Proteus-II kan deze methodiek worden geïncorporeerd in het model.

In hoofdstuk 3 van dit rapport is een kort overzicht gegeven van de historie van de totstandkoming van generieke faalfrequenties zoals gebruikt in kwantitatieve risicoanalyses. Ook worden enkele methoden beschreven voor het waarderen van risico reducerende maatregelen.

Hoofdstuk 4 beschrijft de resultaten van een inventarisatie van incidenten met atmosferische opslagtanks uit het verleden, zoals verzameld uit een drietal databases. Het betreft een onderzoek van het RIVM.

In hoofdstuk 5 zijn de door BTT en haar adviseurs voorgestelde risico reducerende maatregelen en de gehanteerde reductiefactoren geëvalueerd. TNO stelt een aantal aanpassingen hierin voor.

Hoofdstuk 6 geeft het voorstel van TNO voor waardering van de maatregelen. De relevantie van faalorzaken is mede gebaseerd op de incidenthistorie en op de specifieke situatie van de tanks bij BTT en de daarin opgeslagen stoffen. De conclusies van het onderzoek zijn gegeven in Hoofdstuk 7.

In enkele bijlagen ten slotte zijn achtereenvolgens opgenomen:

- De statistiek van in het verleden opgetreden incidenten met atmosferische opslagtanks;
- De bevindingen in de incidenthistorie ten aanzien van het optreden van spills van opgeslagen vloeistof in geval van falen van een atmosferische tank;
- Separate rapportages door HIS Consult over de waardering van maatregelen van organisatorische of van constructieve aard, in relatie tot de situatie van BTT.



## 2 Doelstelling van het onderzoek

RWS Waterdienst is betrokken bij de advisering rond nieuwbouwplannen voor een tankenpark voor het bedrijf Botlek Tank Terminal B.V. (BTT). Het tankenpark is gepland te worden gerealiseerd aan de Botlekhaven, in de gemeente Rotterdam.

Vanwege de aard en hoeveelheden van aangevoerde en opgeslagen stoffen valt de inrichting onder het BRZO1999. De DCMR treedt op voor het bevoegde gezag inzake de Wet Milieubeheer. Ten behoeve van de Omgevingsvergunning heeft BTT een Veiligheidsrapport opgesteld waarin tevens een hoofdstuk betreffende de milieurisico's is opgenomen. Een milieurisicoanalyse (MRA), uitgevoerd door Ingenieursbureau Oranjewoud met behulp van het programma Proteus II [1], geeft aan dat de toelaatbare milieurisico's voor het oppervlaktewater kanszijdig een factor 10 – 100 worden overschreden. Maatregelen ter reductie van de milieurisico's door verlaging van de kans op een (grootschalige) uitstroming uit een tank, zijn voor RWS een voorwaarde voor het geven van een positief advies aan het Bevoegd Gezag, i.c. de DCMR.

Verantwoording van de risico's en van het in rekening brengen van omgevings- en installatiemaatregelen zijn in de MRA beschreven:

- Paragraaf 8.1, 'Risicobeperkende omgevingsfactoren' gaat in op de beperking van de kans op en de effecten van topping: het over de tankputwand golven van een deel van de uitstromende vloeistof. Hiervoor wordt circa een factor 2 verlaging van het effect (Milieuschade-index) afgeleid. RWS Waterdienst heeft voor de beoordeling van dit voorstel de deskundigheid van Deltares ingeschakeld [16].
- Paragraaf 8.2, 'Risico beperkende maatregelen' gaat in op de (verdere) reductie van de kans op instantane uitstroming. Met een verlaging van de kans op instantane uitstroming met een factor 10 zou het milieurisico juist binnen de acceptatiegrenzen liggen. Kansreducties zijn voorgesteld voor de (zes relevante) directe oorzaken voor Loss of Containment volgens het RRZO '99 (PGS 6, [2]). RWS Waterdienst heeft TNO gevraagd om de voorgestelde methodiek en de correctiefactoren te beoordelen.

Deze rapportage vormt de weergave van het genoemde onderzoek naar de "Risicobeperkende maatregelen". Bij de beoordeling en waardering van de voorgestelde factoren voor risicoreductie [1] is onderscheid gemaakt in 'constructieve' en 'niet-constructieve' faalmechanismen. Het doel is om een faalkansreductie af te leiden die betrekking heeft op het voor de MRA bepalende incident: overtopping van de instantane uitstroming van de tankinhoud.

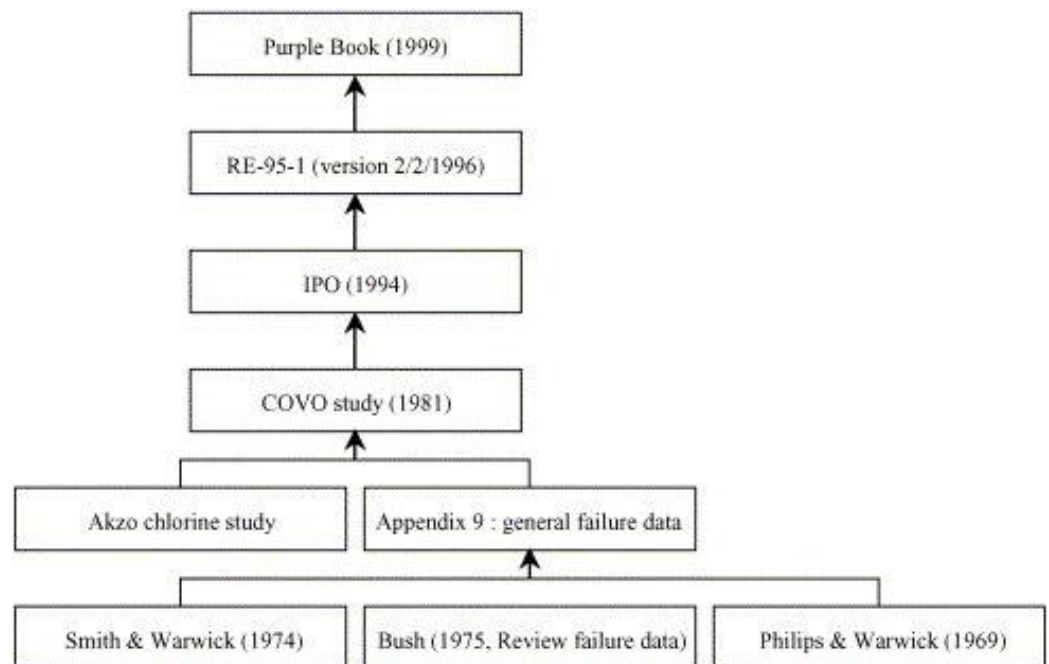


## 3 Generieke faalfrequenties en waardering van maatregelen

### 3.1 Herkomst thans gehanteerde generieke faalfrequenties

De voor atmosferische opslagtanks gehanteerde faalfrequenties voor milieu risico analyses zijn overgenomen uit de zgn. BEVI richtlijnen [3], een verdere uitwerking van het Paarse Boek [4]. In een aantal recente publicaties [5, 6] worden de historie en achtergrond van deze faalkansen toegelicht. Hierin wordt o.a. aangegeven dat “catastrofaal falen” in de oorspronkelijke COVO studie [7] (in tegenstelling tot lekscenario’s) niet gebaseerd is op historische data maar op een foutenboom analyse. De hierin vastgestelde kansen zijn soms sterk onderhevig aan een niet transparante “expert judgement” en bovendien het resultaat van consensus tussen industrie en autoriteiten [6].

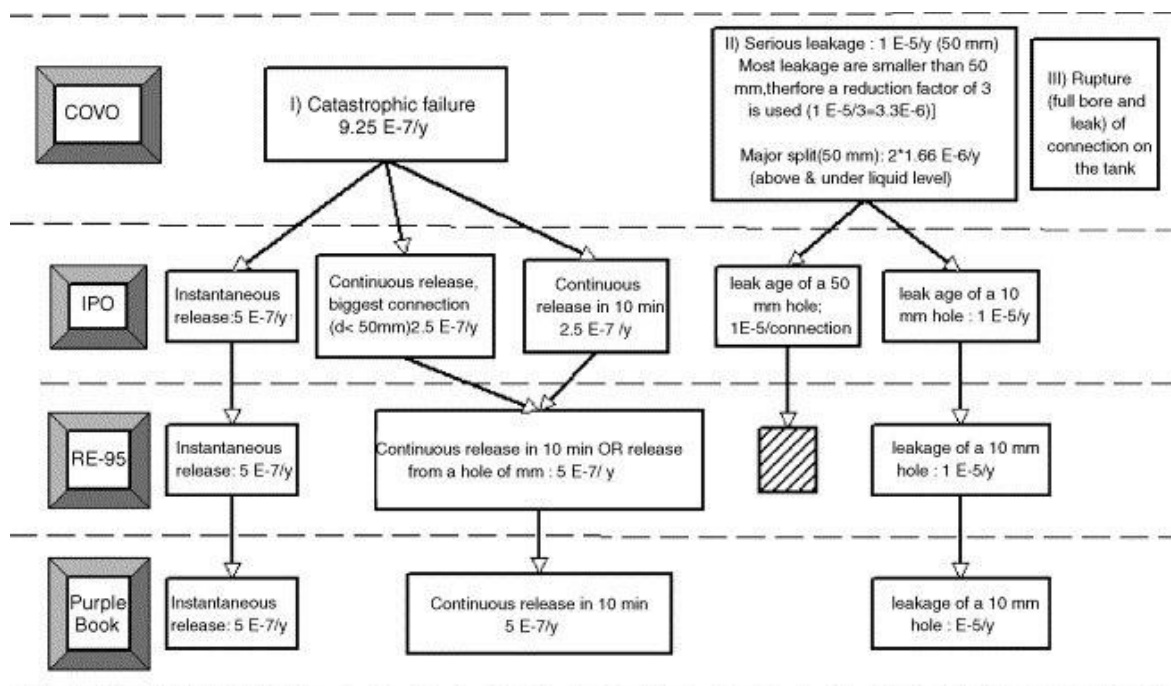
Figuur 3.1 uit [6] schetst de historie van methodieken en richtlijnen in toepassingen van kwantitatieve risicoanalyses in Nederland.



Figuur 3.1: Informatiebronnen voor faaldata van procesequipement zoals gebruikt in QRA's in Nederland (uit: Pasman [6]).

In de latere IPO Richtlijnen [8] wordt catastrofaal falen verder onderverdeeld in “instantaan falen”, “uitstroming in 10 minuten” en “uitstroming door 50 mm gat”, waarbij de oorspronkelijke catastrofale faalkans werd verdeeld over deze drie faalmodi.

In Figuur 3.2 is de wijze van vertaling van de verschillende scenario's in de verschillende generaties voorschriften weergegeven. De faalkansen duiden in dit geval op een druktank maar vergelijkbare verschuivingen van faalscenario's zijn ook voor atmosferische tanks toegepast.



Figuur 3.2: Historie van faalfrequenties voor drukvaten in de opeenvolgende QRA documenten in Nederland. De 'COVO faalmodi' werden in het IPO document onderverdeeld in 'instantane release', 'continue uitstroming uit de grootste aansluiting', uitstroming van de inhoud in 10 minuten, en 'leken uit een gat van 50 mm of 10 mm'. (Uit: Pasman [6]).

Belangrijke conclusie uit [4] is dat het moeilijk is de betrouwbaarheid van thans gehanteerde faalkansen te beoordelen, om de volgende redenen:

1. Er bestaat geen universele terminologie voor de classificatie van faalmechanismen. De term "catastrofaal falen" wordt in verschillende bronnen verschillend gebruikt.
2. Naast werkelijk opgetreden falen wordt veelvuldig ook potentieel falen in de ongevallenstatistiek betrokken.
3. De beschikbare datasets voor ongevallenstatistiek zijn relatief klein. Bovendien worden de onderliggende uitgangspunten en faalmechanismen niet eenduidig beschreven.
4. Er zijn vrij grove aannames gedaan bij de vertaling van data van de ene industrietaak (bijv. stoomketels) naar een andere branche (bijv. drukvaten in de petrochemie).

Een ander belangrijk knelpunt van de huidige faalkansen in de BEVI methodiek is dat zij gebaseerd zijn op "oude data", veelal uit de zeventiger jaren. Als gevolg van veranderingen in ontwerpregels en constructiematerialen en van ervaringen en lessen uit eerdere incidenten kan worden aangenomen dat de faalkansen sinds die tijd (sterk) veranderd zijn. RIVM concludeert in [5] dat het feitelijk onduidelijk is in hoeverre de thans gehanteerde faalfrequenties representatief zijn voor de huidige stand der techniek van de chemische industrie. Om deze reden is er gestart met revisie en update van de thans gehanteerde faalkansen, waarbij rekening wordt gehouden met standaarden in ontwerp, constructie en onderhoud, evenals met de optredende bedrijfscondities. De rapportage van RIVM [9] is het resultaat van een eerste stap in dit traject.

Gegeven de grote onzekerheden in faalfrequenties is het voor de industrie toegestaan alternatieve faalkansen te gebruiken indien zij kan aantonen dat deze data beter zijn dan de publieke (generieke) faalkansen.

Daarnaast geeft RIVM in [10] een voorstel hoe technische maatregelen meegenomen kunnen worden in een aangepaste faalfrequentie.

### **3.2 Beoordeling veiligheid en integriteit van opslagtanks**

In kwantitatieve risicoanalyses (ook voor milieurisico's) worden de beschouwde faalsituaties (loss of containment) en faalfrequenties veelal gedomineerd door niet-constructieve bedreigingen, zoals operatorfouten, falen van procesregelingen, overvulling of externe belasting. De milieurisico's van BTT worden bepaald door overtopping van de uitstroming van een opslagtank. Deze overtopping komt, volgens de benadering in de MRA, alleen voor in samenhang met het instantaan vrijkomen van de gehele tankinhoud.

Een evaluatie van catastrofale incidenten [12] met atmosferische opslagtanks laat zien dat de oorzaak van instantaan falen meestal in een plotseling optredende (= niet-constructieve) gebeurtenis gevonden wordt.

In Bijlage 4 is een methodiek beschreven voor de waardering van maatregelen tegen constructieve bedreigingen, gebaseerd op de richtlijn EEMUA 159 [11]. Voor het voorkomen van niet-constructieve faalmechanismen is de EEMUA 159 RBI-methodiek echter minder geschikt. De risk-based inspection methodiek (RBI) in EEMUA 159 ziet vooral op zogenaamde trendbare faalmechanismen: faaloorzaken die zich met verstrijken van de levensduur van installaties en apparatuur manifesteren, zoals corrosie en zettingen, die vooral met de constructieve aspecten van het ontwerp en het onderhoud daarvan te maken hebben. Een ontwerpbeoordeling tegen de eisen van EEMUA 159 geeft wel inzicht in de kwaliteit van het ontwerp en het beheer: voldoen deze aan de huidige stand der techniek?

### **3.3 Methodieken voor waardering van risicoreductie factoren door technische maatregelen of specifieke omstandigheden**

Er zijn in de literatuur diverse methoden voorgesteld en beschreven voor de beoordeling van maatregelen van risicoreductie. Voor waardering van maatregelen binnen een kwantitatieve risicoanalyse zijn methodieken nog in stadium van ontwikkeling; voor toepassing binnen de beoordeling van milieurisico's is een methodiek nog niet voorhanden.

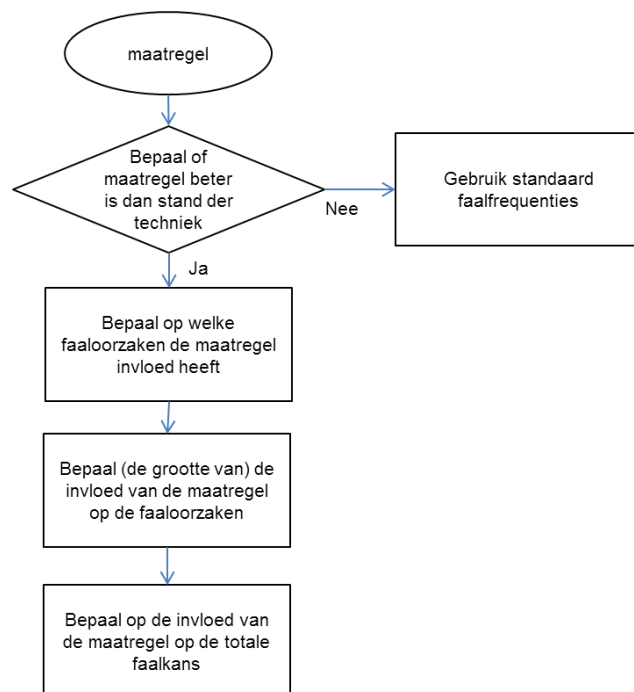
In deze paragraaf worden enkele methodieken kort beschreven.

#### *3.3.1 Voorstel RIVM voor maatregelen binnen BEVI beoordelingen*

In [9] en [10] wordt door Uijt de Haag et al (RIVM) een methode gepresenteerd waarmee technische maatregelen kunnen worden gewaardeerd in risico reductie factoren. In deze methode wordt een vier-staps benadering gevolgd; zie ook Figuur 3.3:

1. Overstijgt de maatregel de standaard eisen? (voorafgaand hieraan: definieer de standaard);
2. Stel de relevante faaloorzaken vast (bijvoorbeeld corrosie, overvullen, externe impact) en bepaal op welke oorza(a)k(en) de maatregel invloed heeft;

3. Bepaal (waardeer) de effectiviteit van de maatregel voor de specifieke faaloorzaak (welke effectiviteit voor welke oorzaak);
4. Bepaal het netto effect op specifieke frequentie (correctie op de basis faalfrequentie).



Figuur 3.3: Procedure voor vaststellen van de faalkansreductie door treffen van (aanvullende) maatregelen (Uit: RIVM [9]).

De publicatie [10] geeft een uitgebreid voorbeeld van de uitwerking van deze methodiek op een atmosferische opslagtank en is daarmee zeer goed bruikbaar voor deze studie.

### 3.3.2 Andere methodieken

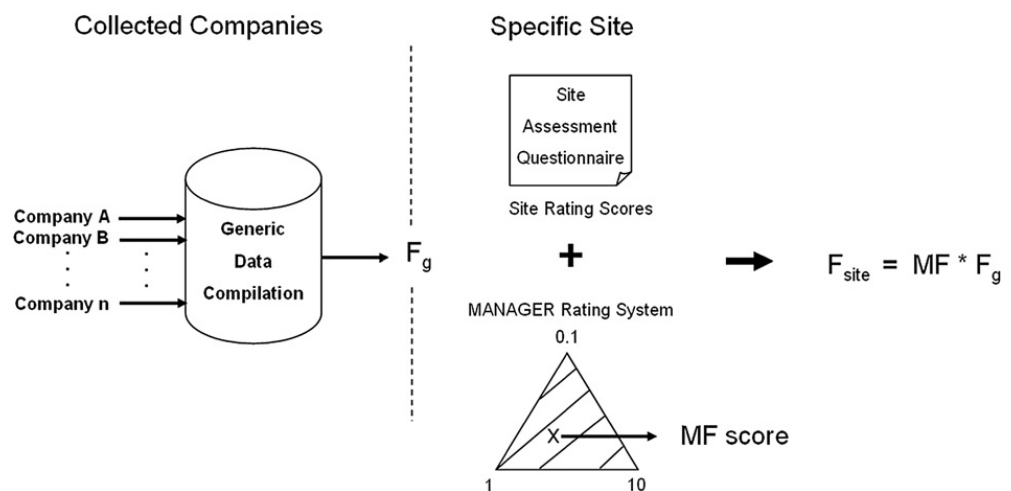
Naast de door RIVM voorgestelde methode zijn in de literatuur ook enkele andere methodieken te vinden waarmee een waardering voor specifieke omstandigheden op de faalfrequentie mogelijk is. Pitblado (DNV) geeft in ref [13] een overzicht van vier verschillende methoden:

- a. Wijzigingen op basis van analyse faalmechanismen (CCPS methode);
- b. MANAGER methode (DNV methode);
- c. API 581 methode (gebaseerd op Risk Based Inspection);
- d. Barrière methode.

Bij de **CCPS methode** wordt het faalscenario allereerst opgedeeld in relevante faalmechanismen. Op basis van de historische data (de data waarop de basis frequentie is gebaseerd), wordt dan gekeken of alle faalmechanismen van toepassing zijn in de specifieke situatie. Dit kan al leiden tot een eerste reductie van de faalkans (bijvoorbeeld omdat “aardbevingen” lokaal niet voorkomen).

Vervolgens wordt op basis van een expert judgement, een correctiefactor toegepast voor lokale omstandigheden (beter of slechter dan de basis situatie).

Bij de **MANAGER methode** wordt op basis van een intensieve site audit een correctie factor toegepast op de generieke frequentie. Hierbij worden uitdrukkelijk aspecten als Human Failure en Safety Management meegenomen (zie Figuur 3.4). Een dergelijke site audit gebruikt een uitgebreide vragenlijst waarin management, procedures, onderhoud en training, maar ook technische systemen, site housekeeping en human factors aspecten zijn die aan de orde komen.

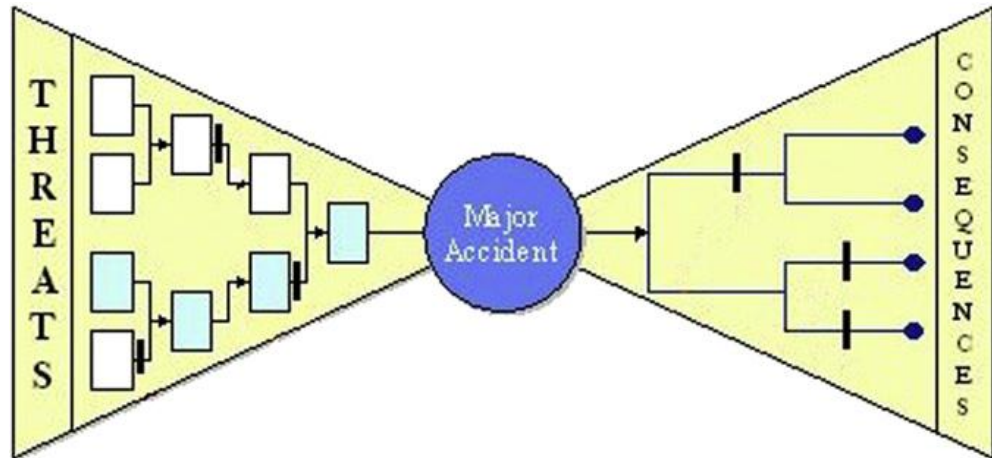


Figuur 3.4: Toepassing van correctiefactoren op de faalfrequentie voor (de kwaliteit van) het veiligheidsmanagementsysteem, volgens de MANAGER methodiek.

Ook deze MANAGER methode vereist in zekere mate een expert judgement om de vragenlijst te vertalen naar een beoordeling als 'Beter dan gemiddeld', 'Gemiddeld' of 'Slechter dan gemiddeld'. Hoewel DNV aangaf dat de ervaringen met de MANAGER methode positief waren (in meer dan 60 installaties toegepast), bleek het vrijwel onmogelijk om de methodiek te valideren, omdat er statistisch gezien gewoon te weinig (serieuze) Loss Of Containment situaties optreden. Oorspronkelijk werd een grote spreiding gevonden in de correctiefactor (orde 15) tussen bedrijven, maar het is de verwachting dat de (verplichte) toepassing van Safety Management systemen dit onderscheidend vermogen zal verminderen.

De **API 581 methode** is in feite een **risk based inspection** methode, toegespitst op raffinaderijen. Het risicore resultaat wordt primair gebruikt om inspectietermijnen vast te stellen, maar kan ook gebruikt worden om een "Modification Factor" te bepalen die toegepast kan worden op een generieke faalfrequentie. API 581 en de daarin opgenomen RBI methodiek heeft veel overeenkomsten met EEMUA 159 [11]; zie ook Bijlage 4. De API methodiek is ontwikkeld in de USA en refereert veel aan Amerikaanse normen terwijl EEMUA 159 een Europese methodiek is.

Voor de **Barrière methode** wordt door combinatie van “event trees” en “fault trees” (de Bow-Tie) een systematische analyse van de faalscenario's en gevolgketens gemaakt; zie Figuur 3.5.



Figuur 3.5: Schema van een Bow-Tie diagram.

Een “Bow-Tie” (Vlinderstrik) maakt duidelijk welke preventieve of mitigerende barrières er tegen welke events bestaan. Door een semi-kwantitatieve beoordeling van de maatregelen kan uiteindelijk een credit (of een penalty) op een specifieke generieke faalfrequentie worden toegepast. Ook in deze methode is onherroepelijk een zekere expert judgement noodzakelijk om de barrières te “waarderen”.



## 4 Historische data: incidenten met atmosferische opslagtanks

Via RIVM is inzicht verkregen in een recente studie “Incidentenanalyse atmosferische opslagtanks” (ref [12]). Ook zijn de onderliggende spreadsheets met samengevatte ongevalsbeschrijvingen van deze studie door het RIVM ter beschikking gesteld.

De studie onderscheidt de drie faalmodi conform de Bevi methodiek: instantaan falen, uitstroming in 10 minuten en een lek met een gatgrootte van 10 mm. In de Bevi rekenmethodiek is voor overtopping alleen de eerste (instantaan falen) potentieel relevant. Zoals hierna blijkt kan echter ook het scenario ‘uitstroming in 10 minuten’ tot overtopping leiden.

De verdeling van faaloorzaken zoals onderscheiden in het RIVM rapport is in dit hoofdstuk beschreven. Zie ook de tabellen in Bijlage 1.

### 4.1 Omvang van de steekproef, per faalmodus

In de analyse van RIVM zijn 76 incidenten geëvalueerd. Deze zijn als volgt ingedeeld in de drie faalmodi:

- ‘instantaan falen’: 28 incidenten. Bij nadere evaluatie bleek dat één incident dat als ‘10 minuten’ was ingedeeld (Nr. 71) een “split of the tank” als gevolg van instabiele ondergrond betrof; dat had beter als ‘instantaan’ kunnen worden beoordeeld. Er resulteren dus 29 incidenten onder ‘instantaan’.
- ‘uitstroming in 10 minuten’: 17 incidenten. Bij nadere evaluatie bleek dat één incident (Nr. 71) onder ‘instantaan’ thuishoort en dat twee incidenten (Nrs. 24 en 25) zowel bij ‘instantaan’ als bij ‘10 minuten’ waren ingedeeld; het laatste leidde tot een dubbeltelling. De laatste twee zijn daarom uit de ‘10 minuten’ statistiek verwijderd. Er resulteren dus 14 incidenten onder ‘uitstroming in 10 minuten’.
- ‘klein lek’: omvat de overige incidenten welke voor het onderhavige onderzoek niet relevant worden geacht; een klein lek (karakteristieke gatgrootte  $d = 10$  mm) zal naar verwachting niet tot overtopping leiden.

### 4.2 Relevante incidenten en de oorzaken

In Tabel 4.1 zijn de resultaten van de beschouwde casuïstiek gegeven in aantallen geregistreerde incidenten. De verdeling van oorzaken is in deze paragraaf verder uitgewerkt. Op de bevindingen betreffende opgetreden spills (laatste twee rijen van de tabel) en de potentie van overtopping wordt in Bijlage 2 verder ingegaan.

Conform de indeling zoals gehanteerd in [12] is het onderscheid gehandhaafd tussen ‘werkelijk falen W’ en ‘potentieel gevolg P’. Het valt op dat vooral bij de incidenten die als instantaan falen zijn ingedeeld een groot deel als ‘potentieel’ is aangeduid. In deze situaties was meestal geen sprake van loss of containment zoals ook uit de registratie van spills blijkt.

Tabel 4.1: Aantallen incidenten met als gevolg falen van atmosferische opslagtank

	Instantaan	Uitstroming in 10 minuten
Aantal totaal, waarvan:	29	14
• 'werkelijk W'	7	12 (waarvan 8x overvulling tank)
• 'potentieel P'	22 (waarvan 18x falen tankdak)	2
Dominante oorzaak	Expl. mengsel + ontsteking (20x)	Overvulling (8x)
Aantal spills, totaal	13 (waarvan 7xW en 6xP)	11
Aantal spills buiten tankput	7 (waarvan 4xW en 3xP)	5 of 6

RIVM geeft in [10] voor zowel het scenario 'instantaan falen' als het scenario 'uitstroming in 10 minuten' een onderverdeling naar primaire 'directe' oorzaken volgens de PGS6 indeling [2]. Op basis van een analyse van historische data zijn de relatieve bijdragen van de faalmechanismen in kaart gebracht.

#### 4.2.1 Instantaan falen

Tabel 4.2 geeft de bijdragen van oorzaken van instantaan falen van atmosferische opslagtanks volgens de RIVM studie, op basis van 29 incidenten.

De bijdrage van de overdruk door een explosie is duidelijk dominant voor de instantane scenario's (20 van de 29 = 69%).

Nadere analyse van een incident met externe belasting (case 25) leert dat dit weliswaar wordt beschreven als ontwerpfout, maar dat er hier sprake was van een onderhoudssituatie (uitgraven en aanbrengen van de fundering voor een trap, de teruggebrachte grond was onvoldoende hard), waarbij door onvoldoende stevigheid van de bodem een ongelijke grondzetting is opgetreden, leidend tot een externe belasting. Het uitvoeren van inspecties, inclusief meten van "differential settlement" wordt hier expliciet als "Line of Defence" genoemd.

Tabel 4.2: Verdeling van oorzaken van instantaan falen van atmosferische opslagtanks

Primaire oorzaak	Motivatie	Aantal ( $\Sigma = 29$ )
Hoge temperatuur	Exotherme reactie	2
Corrosie	Product invloed	1
Overdruk	Explosieve wolk + ontsteking	20
	Breuk stoomspiraal	1
	Verkeerde stof	1
	Roll-over t.g.v. dichtheidsverschillen	1
	Roll-over t.g.v. temperatuurverschillen	1
Externe belasting	Ontwerpfout / grondzetting	2

#### 4.2.2 Uitstroming in 10 minuten

In de Proteus II MRA methodiek wordt overtopping alleen gekoppeld aan het scenario instantaan falen. Echter, omdat nu uit de historische data blijkt dat ook het "10 minuten" scenario tot "leak outside bund" kan leiden wordt ook deze loss of containment gebeurtenis in de analyse betrokken.

De RIVM analyse geeft de volgende onderverdeling van oorzaken aan “10 minuten scenario’s” op basis van 14 incidenten, zie Tabel 4.3.

Tabel 4.3: Verdeling van oorzaken van uitstroming in 10 minuten van atmosferische opslagtanks

<b>Primaire oorzaak</b>	<b>Motivatie</b>	<b>Aantal (<math>\Sigma = 14</math>)</b>
Corrosie	Water	2
Overdruk	Overvulling: uitstroom geblokkeerd	1
	Overvulling: te hoge instroom	7
	Overvulling: te weinig capaciteit	1
	Vullen met verkeerde fase	1
	Verkeerde stof	1
	Roll-over t.g.v. temperatuurverschillen	1



## 5 Beoordeling voorstel van BTT voor risicoreductie in specifieke situatie

Ingenieursbureau Oranjewoud heeft in de MRA voor de BTT inrichting een aantal risico beperkende maatregelen voorgesteld en gewaardeerd. Oranjewoud heeft hierbij een grotendeels analoge benadering gevolgd als voorgesteld in de RIVM methodiek. In het bijzonder zijn daarin stap 2 (relevantie van de directe oorzaken) en stap 3 (waardering van voorgestelde maatregelen) belicht. Stap 1 (aantonen dat een maatregel boven de stand der techniek uitgaat, zgn. 'PGS29 Plus' is [14]) is pas in een later stadium uitgevoerd.

In deze paragraaf worden de door BTT voorgestelde maatregelen beschreven [1]. Deze worden waar nodig voorzien van een beoordeling door TNO en HIS Consult.

### 5.1 Identificatie en beoordeling van relevante directe oorzaken

In de MRA [1] zijn de 11 directe oorzaken van PGS6 teruggebracht tot 6 relevante potentiële oorzaken voor *instantaan falen*, te weten: corrosie, erosie, externe belasting, impact, overdruk en operatorfout.

Naar de mening van TNO is in de Oranjewoud analyse het faalmechanisme "erosie" onjuist gebruikt: ten onrechte is dit als "erosie van de grond" aangemerkt. In RRZO'99 wordt met erosie een slijtage (t.g.v. eroderende fijne deeltjes) van installatie onderdelen bedoeld, waardoor de sterkte van de installatie wordt ondermijnd. Het faalmechanisme "instabiele bodem", waarbij (door zettingsverschillen of door wegspoelen van de ondergrond) scheefzakken van de tank kan optreden, zal uiteindelijk tot een externe belasting leiden en hoort dus eerder bij directe oorzaak categorie 3.

Verder is het denkbaar dat het afbreken van een 'grote diameter leiding' tot gevolg heeft dat door een groot uitstroomdebiet overdruk in de tank ontstaat waardoor de wand ongecontroleerd kan vervormen (plooien) met het risico van instantaan openscheuren van de wand. Hierbij is dus een grote uitstroming een initiërend event voor instantaan falen. Door Oranjewoud is de directe oorzaak categorie 6, "overdruk" dus ten onrechte als niet relevant aangemerkt.

Daarnaast concludeert HIS Consult dat de tabel met de 11 basisoorzaken uit de PGS6 (met hun relevantie voor instantaan falen van opslagtanks) feitelijk niet compleet is; zie bijlage 3. De oorzaken scheefzakken, randzetting en differentiële wandzetting van de tank zijn daarin niet opgenomen. Deze drie oorzaken kunnen de volgende gevolgen hebben:

- Overbelasting van de hoekverbinding tussen wand en bodem met als mogelijk gevolg scheurvorming;
- Versnelde corrosie van de bodem (annular) die kan leiden tot lokale lekkage;
- Vervormen (plooien) van de tankwand dat mogelijk scheurvorming tot gevolg kan hebben;
- Buigende momenten van aansluitend leidingwerk met als mogelijk gevolg scheurvorming die in het ergste geval kan leiden tot afbreken van een leiding.

Wel kan men stellen dat deze bedreigingen zich door goed onderhoud laten beheersen. Echter, dat impliceert wel dat basisoorzaak 11 "Onderhoud" relevant kan zijn voor instantaan falen. Op basis van eigen ervaring en ongepubliceerd onderzoek schat HIS Consult dat onvoldoende of foutief onderhoud verantwoordelijk is voor 9 - 17% van de milieu incidenten; zie Bijlage 3. In die zin mag faaloorzaak 11 'Onderhoud' dus niet als "niet relevant" worden afgedaan.

HIS Consult bepleit dat het consistentere zou zijn om de oorzaken scheefzakken, randzetting en differentiële wandzetting (potentiële buigende momenten) aan de lijst van directe oorzaken toe te voegen. Uiteindelijk leiden dergelijke oorzaken tot een externe tankbelasting. Om die reden wordt grondzetting in de TNO analyse (hoofdstuk 6) als overkoepelend begrip toegevoegd aan oorzaak 3: externe belasting.

Samenvattend acht TNO de volgende aanpassingen nodig in de relevantie van directe oorzaken t.o.v. de analyse van Oranjewoud:

- Erosie (2) is niet van toepassing op externe invloeden zoals wegspoelen van de dragende ondergrond;
- Externe belasting (3) omvat in beginsel ook oorzaken als scheefzakken;
- Overdruk (5) omvat in beginsel meer oorzaken dan door Oranjewoud genoemd;
- Onderdruk (6) kan niet worden uitgesloten;
- Onderhoud / wijziging (11) is wel een relevante factor.

Oranjewoud heeft een arbitraire, naar eigen oordeel voorzichtige verdeling van de relatieve bijdragen van de relevante directe oorzaken gehanteerd om het effect van maatregelen op de totale frequentie van instantaan falen ( $5 \times 10^{-6}$  /jr) te kunnen berekenen: stap 2 + 3. De verdeling is gebaseerd op een expert opinion.

TNO zal in haar analyse uitgaan van de relatieve bijdragen van directe oorzaken zoals deze uit de incidenthistorie is afgeleid (zie hoofdstuk 6).

## 5.2 Door BTT voorgestelde maatregelen

In de MRA [1] wordt op basis van de relevante faalmechanismen een aantal maatregelen opgesomd die potentieel een kansverlagende invloed kunnen hebben op elk van de onderscheiden relevante faaloorzaken. Vervolgens wordt daarbij aangegeven welke maatregelen op welke directe oorzaak van falen invloed zullen hebben, en worden kwantitatieve factoren van risicoreductie geïntroduceerd.

De risicoreductiefactor RF geeft aan tot welke waarde de kans op (falen door) de betreffende oorzaak wordt verlaagd door toepassing van de genoemde maatregel. Hoe kleiner het getal, hoe groter de risicoreductie dus hoe kleiner het restrisico. Bijvoorbeeld: bij RF = 0,5 bedraagt de rest kans 0,5 (= 50%) van de initiële kans, en bij RF = 0,1 bedraagt de rest kans 0,1 (10%) van de initiële kans. In het laatste geval is de kans (op de betreffende oorzaak!) dus een factor 10 afgenomen. Een waarde van RF = 0,9 betekent dat er slechts van weinig risicoreductie sprake is.

Oranjewoud geeft ook aan dat de gekozen waarden op basis van expertinzichten zijn gekozen en dat een statistische / wetenschappelijke validatie in veel gevallen niet kan worden gegeven.

Oranjewoud stelt in samenspraak met BTT de volgende maatregelen voor die de kans op falen door de onderscheiden directe oorzaken zouden verlagen en daardoor het risico van overtopping zullen reduceren. De onderbouwing dat deze maatregelen additioneel zijn ten opzichte van de vereiste stand der techniek (dus: PGS29 Plus) is later verstrekt [15], maar wordt onderstaand vermeld conform de formulering van Oranjewoud:

1. Het gebruik van corrosiebestendige materialen voor de bouw van de tankwanden, waarbij ten opzichte van de berekende tankwanddikte aanvullend voor de gehele tank een corrosietoeslag van 1 mm wordt toegepast (de minimale eis is 0,7 mm). Deze maatregel gaat uit boven de minimale corrosietoeslag die door PGS29 wordt vereist.
2. Het toepassen van scheurnaden in combinatie met explosiedeksels, waardoor er in geval van een te hoge drukopbouw sprake zal zijn van een 'gecontroleerde' reactie van de structuur van de gehele opslagtank. Deze voorzieningen zijn aanvullend op explosieluiken / breekplaten in de dakconstructie. Er is feitelijk sprake van een drievoudige bescherming tegen overdruk, hetgeen de eisen van PGS29 overstijgt.
3. Het toepassen van dubbele ventilatiecapaciteit (druk-/vacuümkleppen) op de tank om de kans op overdruk in de tank te reduceren. De bedoelde uitvoering behelst een verdubbeling van het aantal kleppen. PGS29 schrijft een berekende capaciteit voor; een dubbele uitvoering overstijgt die eisen.
4. Het invoeren van een volledig Risk Based Inspection programma voor in-service controles en onderhoud voor de tanks. Extra 100% controle als actie bij de nieuwbouw op de lasnaad bodem/wandverbinding is meer dan wat PGS29 aangeeft. BS 2654 is hierin leidend; alles boven deze norm is PGS29 Plus. Deze controle bij de constructie geeft bovendien een beter uitgangspunt voor de RBI implementatie voor in-service controles en onderhoud voor de tanks.
5. Het gebruik van een betonnen, op palen gefundeerde bodemplaat onder de opslagtanks waardoor de kans op een onstabiele bodem onder de opslagtanks naar verwachting wordt uitgesloten. Een betonnen bodemplaat (op palen) is geen voorschrift in PGS29, en geldt dus als een extra maatregel.
6. Het uitvoeren van een continue controle op de bodemdrain. PGS29 spreekt niet over bodemdrains, dus elke controle hierop is PGS29 Plus.
7. Het veiligheidsmanagementsysteem voldoet aan NTA 8620 en is gecertificeerd volgens ISO9001.

TNO plaatst de volgende kanttekeningen bij de keuzes van Oranjewoud:

- Zoals eerder opgemerkt, is oorzaak 2 "Erosie" volgens de PGS6 methodiek niet bedoeld voor externe erosie zoals wegspoelen van de ondergrond. De toegekende reductiefactor door realisatie van maatregel 5 behoort dan ook niet aan de oorzaak 'erosie' te worden toegekend. Wel kan deze grondzetting (met als gevolg scheefzakken van de tank) onder het kopje "externe belasting" wordt gerubriceerd.

- Door Oranjewoud wordt voor de oorzaken “externe belasting” (brand, storm), “impact” en “operator fout” de maatregel “risk based inspection” genoemd als een maatregel die tot kansreductie leidt. Dit is volgens HIS Consult (Bijlage 3) niet correct omdat RBI geen invloed heeft op niet-constructieve gebeurtenissen die leiden tot een externe belasting of tot impact en evenmin op menselijk handelen van de operator. Risk based inspection heeft echter wel invloed op de oorzaak externe belasting door “grondzetting” (scheefzakken).
- Verder wordt voor de maatregel “Risk based inspection” ook een invloed op de oorzaak “Overdruk” geclaimd. Dit is echter ook weer afhankelijk van de achterliggende oorzaak van de overdruk. Breuk van een stoomspiraal (overigens bij BTT niet aanwezig in de tanks met gevaarlijke stoffen) zal bijvoorbeeld door Risk Based Inspection al in een vroegtijdig stadium voorkomen kunnen worden, overdruk door een interne explosie echter niet. Het voorstel van Oranjewoud maakt dit onderscheid niet.

### 5.3 Toelichting bij enkele relevante oorzaken op basis van PGS 6

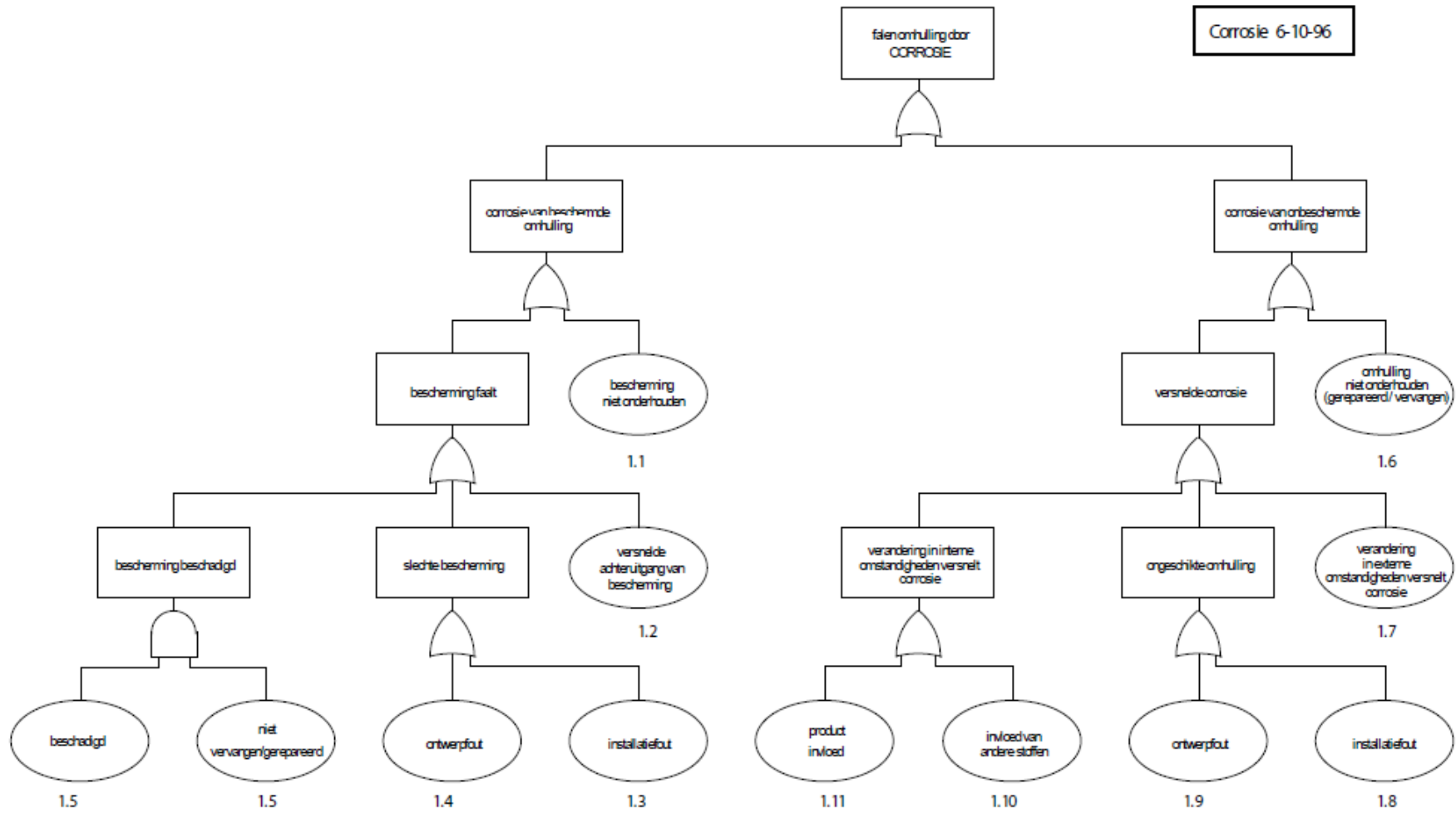
Voor wat betreft de analyse van faaloorzaken zijn de foutenbomen uit bijlage 8 van PGS6 relevant [2]. Hierin wordt per directe faaloorzaak een foutenboom gegeven en is aangegeven onder welke voorwaarden de situatie kan voorkomen. Uitdrukkelijk is daarin de eventuele eliminatie van oorzaken te vinden die kan worden gerealiseerd door bepaalde maatregelen (bijv. onderhoud).

Hieruit is bijvoorbeeld op te maken dat het falen door corrosie bijna volledig voorkomen zou kunnen worden door een adequaat inspectie- en onderhoudsprogramma: hiermee wordt namelijk ingegrepen op zowel het optreden van corrosie (vroegtijdig constateren door inspectie) als op het gebrek aan onderhoud.

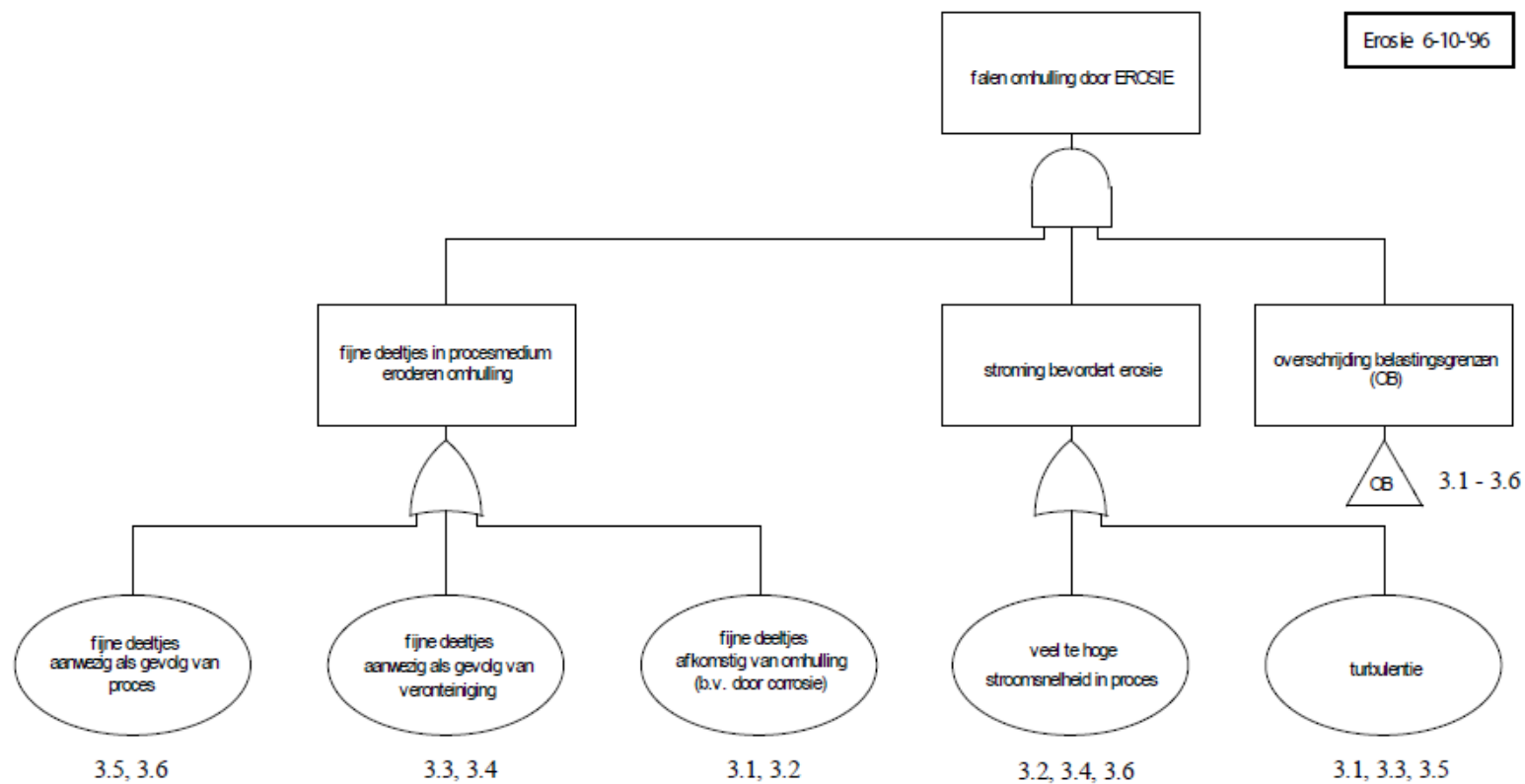
De foutenboom voor “erosie” illustreert duidelijk de gecombineerde voorwaarde van aanwezigheid van fijne deeltjes EN stroming. Omdat deze slijtage aan de binnenzijde optreedt, kan dit faalmechanisme alleen met inspectie gedetecteerd worden INDIEN de inspectie een regelmatige wanddikte meting zou bevatten.

Aan de hand van referentie [2], de beoordeling door HIS Consult (Bijlage 3) en bovengenoemde overwegingen stelt TNO een aangepaste invloedsmatrix voor, zie hoofdstuk 6.





Figuur 5.1: Foutenboom voor directe oorzaak 'CORROSIE', volgens PGS 6.



Figuur 5.2: Foutenboom voor directe oorzaak 'EROSIE', volgens PGS 6.

## 6 Voorstel herziening faaloorzaken en risicoreductie

Deze paragraaf geeft de resultaten van TNO's analyse van potentieel relevante faaloorzaken, de waardering van risicoreductie door de voorgestelde maatregelen en de overwegingen en onderbouwing van deze waardering. Voor de kansverdeling van de relevante oorzaken is aangesloten bij de incidenthistorie zoals gevonden in het RIVM onderzoek [12].

### 6.1 Keuze waarderingsmethodiek

Van de in hoofdstuk 3 beschreven methoden voor kwantificering van maatregelen / specifieke omstandigheden is het gebruik van de "RIVM" methode (ref. [9] en [10]) het meest voor de hand liggend als het gaat om de situatie voor BTT. Het uitgewerkte voorbeeld (atmosferische tank) geeft al veel handvatten voor toepassing in de onderhavige situatie. Bovendien sluit de methode, vanwege haar herkomst, het best aan bij lopende ontwikkelingen in het instrumentarium voor kwantitatieve risicoanalyses in Nederland. Overigens vertoont de methode sterke overeenkomsten met de CCPS methode (opdelen in faalmechanismen, elimineren van niet-relevante oorzaken, en waarden van een specifieke situatie in een correctiefactor per faalmechanisme), maar met de voorgestelde methodiek wordt de subjectieve expertbeoordeling en waardering van maatregelen beter traceerbaar en kwantificeerbaar gemaakt door gebruik te maken van historische data.

Omdat de eliminatie van de voor overtopping niet relevante faalmechanismen zeer belangrijk is, wordt deze stap expliciet in de waarderingsmethode betrokken. Zo worden in de CCPS methode voorbeelden gegeven waarbij historische faaldata worden geanalyseerd op de relevantie van potentiële oorzaken.

Voor de potentiële milieubelastingsituatie door BTT is het ook relevant om te kijken in hoeverre het gevolg "overtopping" relevant is in alle ongevalsscenario's. In die zin dient dus zowel naar de "Threats" (oorzakenzijde) als naar de "Consequences" (gevolgenzijde) van de Bow-Tie methode gekeken te worden om vast te stellen of een correctiefactor voor het overtoppingsscenario noodzakelijk of gerechtvaardigd is.

Voor toepassing van de vierstaps methode van RIVM op het instantane scenario voor atmosferische tanks betekent dit het volgende (zie ook Figuur 3.3):

Voor **stap 1** kan worden vergeleken of een maatregel / specifieke situatie verder gaat dan de standaard voor atmosferische tanks zoals vastgelegd in PGS29 [14]. PGS29 bevat de huidige vigerende voorschriften voor atmosferische opslagtanks voor brandbare vloeistoffen en vormt dus de 'stand der techniek' waarvoor de basisfaalfrequenties geacht worden geldig te zijn.

Voor **stap 2** dient voor de relevante uitstromingssituatie's een onderverdeling te worden gemaakt in relevante faalmechanismen.

In de regeling Risico's Zware Ongevallen (RRZO'99) worden in artikel vijf 11 directe oorzaken gegeven die tot het falen van een containment kunnen leiden.

Voor **stap 3** dient per maatregel de effectiviteit van de maatregel te worden geschat. (N.B. Het betreft dan maatregelen die verder gaan dan de vereisten volgens PGS29, zgn. 'PGS29 Plus').

In **stap 4** van de RIVM methode dient de totale invloed van (ieder van) de maatregel(en) op de totale faalfrequentie te worden bepaald. Daartoe dient ook het aandeel van een specifieke faaloorzaak in de totale faalkans "instantaan falen" bekend te zijn. In de studie van RIVM [10] is op basis van historische data een onderverdeling naar de bijdragen van de verschillende faaloorzaken gemaakt. Deze onderverdeling kan ook op de BTT situatie worden toegepast.

## 6.2 Relevante directe oorzaken

In Tabel 6.1 zijn de onderscheiden directe oorzaken en hun relevantie samengevat, op basis van directe oorzaken in PGS6 en van overwegingen zoals beschreven onder de beoordeling van de voorstellen van Oranjewoud in paragraaf 5.2. Op basis van TNO's overwegingen resulteren potentieel zeven directe oorzaken.

Tabel 6.1: Directe oorzaken voor loss of containment en hun relevantie voor de opslagtanks van BTT (gebaseerd op door TNO herziene analyse)

Directe oorzaak (RRZO'99)	Relevant	Motivatie
1. Corrosie	ja	Corrosie aan de onderzijde van de tankwand
2. Erosie	nee	Slijtage door erosie treedt alleen op bij aanwezigheid deeltjes en stroming. De bij BTT opgeslagen stoffen hebben die eigenschap niet.
3. Externe belasting	ja	Natuurrampen; grondzetting (scheefzakken leidend tot schade aan leidingen); brand
4. Impact (inslag, botsing, stoten)	ja	Hijsongeval; fragmenten explosies andere installaties
5. Overdruk	ja	Overvulling; ongewenste reacties (explosie, runaway reactie); roll-over tankinhoud; thermische expansie; verkeerde stof
6. Onderdruk	ja	Onderdruk kan leiden tot ongecontroleerd vervormen en instantaan openscheuren
7. Hoge temperatuur	nee	Geen reacties in de opslagtank mogelijk
8. Lage temperatuur	nee	Niet aan de orde
9. Trillingen	nee	Niet aan de orde
10. Operator fout	ja	Overvulling; verkeerde stof / fase
11. Onderhoud/wijziging	ja	Foutief of onvoldoende onderhoud kan leiden tot falende integriteit

Voor de situatie bij BTT is de relevantie nader geëvalueerd op basis van de aanwezigheid van de condities die in de incidenthistorie zijn geïdentificeerd. Voor het scenario 'instantaan falen' resulteren dan vier relevante directe oorzaken. Deze zijn gegeven in Tabel 6.2.

Tabel 6.2: Verdeling van oorzaken van instantaan falen van atmosferische opslagtanks

Primaire oorzaak	Motivatie	Relevant / mogelijk
Hoge temperatuur	Exotherme reactie	Nee
Corrosie	Intern door productinvloed; extern door water	Ja, beperkt
Overdruk	Explosieve wolk + ontsteking	Ja
	Breuk stoomspiraal	Nee
	Verkeerde stof	Ja, beperkt
	Roll-over t.g.v. dichtheidsverschillen	Nee
	Roll-over t.g.v. temperatuurverschillen	Nee
Onderdruk	Breuk (bodem)leiding	Ja
Externe belasting	Ontwerpfout / grondzetting (vooral leidingen)	Ja

Ter toelichting bij de voor de BTT situatie niet of beperkt relevante oorzaken:

- Gezien de aard en eigenschappen van de opgeslagen vloeistoffen worden exotherme reacties niet denkbaar geacht.
- De voorziene opgeslagen stoffen zijn, op basis van de gemiddelde samenstelling, in principe niet of nauwelijks corrosief voor het tankconstructiemateriaal. Corrosie zou mogelijk zijn indien door een (operator)fout een vreemde stof in de tank wordt gelost, bijvoorbeeld een zuur, of door specifieke verontreinigingen en/of sporenelementen. Management en toezicht moeten dit voorkomen.
- Breuk van een stoomspiraal is niet relevant; een dergelijke voorziening is in de tanks voor gevaarlijke stoffen (TP 40, 50 en 60) van BTT niet aanwezig.
- Het vullen met een 'verkeerde' stof wordt door BTT wel denkbaar geacht, maar de voorziene vergissingen daarin worden, gezien de eigenschappen van de mogelijke stoffen, niet relevant geacht uit oogpunt van de mogelijkheid van ontstaan van overdruk. De overwegingen van BTT hieromtrent zijn hieronder gegeven.
- Het ontstaan van roll-over wordt door de eigenschappen van de opgeslagen stoffen uitgesloten geacht.

Ten aanzien van vullen van tanks met een verkeerde stof geeft BTT de volgende toelichting [15]:

*De kans dat in de tanks van TP 40, 50 of 60 andere stoffen worden gepompt dan die waarvoor de tanks bedoeld zijn is klein, maar niet uit te sluiten.*

*Het zou dan gaan om diverse soorten stoffen die opgeslagen worden in TP 10 (In TP 10 kunnen overigens ook K1 stoffen zitten, vergelijkbaar met de stoffen in TP 40, 50 en 60) en TP 20 en 30. Dit betreft dus stoffen als eetbare olie en vetten en K4 producten van uiteenlopende aard.*

*Zelfs al zouden, door verkeerde aansluitingen op de jetties, deze stoffen worden verpompt naar de bewuste tanks in TP 40, 50 of 60, dan is de kans dat daaruit narigheid voortkomt minimaal. De "andere" stoffen die BTT op- en overslaat zijn allemaal minder gevaarlijk dan de K1 vloeistoffen waarvoor TP 40, 50 en 60 primair bedoeld zijn.*

*Daarnaast is het denkbaar dat methanol of ethanol wordt verpompt naar tanks die nog half gevuld zijn met minerale olieproducten als benzine of andersom. Er ontstaat dan wel een probleem met grote hoeveelheden verkeerde mengsels van verkeerde stoffen maar de veiligheid zal hierbij niet direct in het geding komen. De stoffen vormen met elkaar geen acuut ontplofbaar of extra brandbaar mengsel of hoog explosief dampmengsel. Door de commotie die bij het herstellen van de fout ontstaat wordt ook weer extra risico opgebouwd, dus heeft "verkeerde stof" wel een zekere minimale impact. Concluderend zou gesteld kunnen worden dan de oorzaak "verkeerde stof" bij BTT niet direct relevant, maar wel denkbaar is.*

### **6.3 Maatregelen tegen relevante oorzaken**

In Tabel 6.3 zijn de door BTT voorgestelde risico reducerende maatregelen samengevat en is aangegeven (met + of o) op welke directe oorzaak deze maatregelen kunnen ingrijpen.

Bij de maatregel 'risk based inspection (RBI)' moet worden opgemerkt dat dit een koepelbegrip is en dat het alleen waardeerbaar zal zijn als het betreffende RBI-programma gespecificeerd wordt. Dit RBI-programma omvat de verzameling van inspectiemaatregelen die de soort inspectie, de omvang van de inspectie en de frequentie van inspectie detailleren. Aangetoond moet worden dat het voorgestelde RBI programma de beoogde effectiviteit van risicoreductie oplevert. Bij de directe oorzaak 'Onderhoud' wordt aangetekend dat dit betrekking heeft op incidenten die zich door of tijdens onderhoudswerkzaamheden voordoen; dus niet die incidenten die het gevolg zijn van onvoldoende of incorrect onderhoud. Om deze reden wordt voor de oorzaak 'onderhoud' een risicoreductie toegekend aan het veiligheidsmanagementsysteem.

Aan de zes aanvankelijk voorgestelde maatregelen is er één toegevoegd: het veiligheidsmanagementsysteem (VMS) van BTT, dat gecertificeerd zal worden op basis van ISO 9001, OSHAS 18001 en ISO 14001. Hoewel de inschatting van de risicoreductie door extra VMS maatregelen die al door PGS29 worden vereist niet eenvoudig is, menen BTT en Ingenieursbureau Oranjewoud dat door de juiste instructie en aansturing van operators en onderhoudspersoneel de kans op bijvoorbeeld een explosie (overdruk) in een tank kan worden verlaagd. Omdat plannen voor een VMS en een RBI programma nog moeten worden uitgewerkt, kan TNO hierover geen definitief oordeel geven. In het algemeen wordt de voorgestelde reductie haalbaar geacht mits een optimaal beheersysteem wordt ingevoerd dat ook op de langere termijn wordt geborgd.

Tabel 6.3: Invloedsmatrix voor de voorgestelde maatregelen

Directe oorzaak	Maatregel						
	corrosie toeslag	scheur naden	vent. capaciteit	risk based inspection	betonnen bodemplaat op palen	continue controle op bodemdrain	veiligheidsmanagement systeem
1. Corrosie	+	o	o	+	+	+	o
2. Erosie	o	o	o	+	o	o	o
3. Externe belasting	o	o	o	+	+	o	o
4. Impact	o	o	o	o	o	o	o
5. Overdruk	o	+	+	+	o	o	+
6. Onderdruk	o	o	+	+	o	o	o
10. Operator fout	o	+	+	o	o	o	+
11. Onderhoud	o	o	o	o	o	o	+

## 6.4 Waardering kansreducerende maatregelen

Een spreadsheet is ontwikkeld om de effectiviteit te berekenen van de maatregelen op de resulterende faalfrequentie. De spreadsheet omvat achtereenvolgens de volgende (groepen) kolommen:

- De faaloorzaak.
- Het aantal incidenten uit historie (per oorzaak) en de relatieve bijdrage per oorzaakcategorie.
- De frequentie van falen door genoemde oorzaak, berekend uit de relatieve bijdrage en de totale generieke faalfrequentie (voor instantaan falen van een atmosferische opslagtank:  $5 \times 10^{-6}$  /jaar).
- De relevantie voor de betreffende inrichting (hier: BTT); met een 1 of 0 wordt aangeduid of de betreffende oorzaak in de gegeven situatie wel, respectievelijk niet aan de orde is of kan zijn.
- De frequentie van falen door genoemde oorzaak voor de gegeven situaties; wanneer bepaalde oorzaken niet relevant zijn resulteert voor de betreffende inrichting een lagere totale faalfrequentie.
- Maatregelen (totaal zeven kolommen) en de risicoreductiefactoren die –voor ieder van de oorzaken- haalbaar worden geacht, gevolgd door het totale effect van de maatregelen verkregen door vermenigvuldiging van de reductiefactoren per individuele maatregel. De waardering '1' betekent dat de betreffende maatregel geen kansreductie oplevert, terwijl bijvoorbeeld de waardering '0,25' betekent dat de kans tot 25% wordt beperkt ofwel dat de maatregel 75% reductie oplevert.
- De 'nieuwe' faalfrequentie na toepassing van de maatregelen.

### 6.4.1 Instantaan falen

Op basis van de (uit de incidenthistorie afgeleide) bijdragen van de faalmechanismen en de analyse van de maatregelen door Oranjewoud, is Tabel 6.4 opgesteld voor de gecorrigeerde frequenties voor instantaan falen.

Voor de specifieke situatie bij BTT en de stoffen die in de tanks zullen worden opgeslagen, kunnen enkele onderliggende oorzaken worden uitgesloten: breuk stoomspiraal, roll-over door dichtheid en roll-over door temperatuur. Dit is weergegeven door de kolom 'relevant voor BTT' (1 = ja; 0 = nee).

Opgemerkt wordt dat "Risk based inspection" geen effect heeft op toevallige gebeurtenissen (brand, explosie) of op menselijk handelen door de operator (verkeerde stof), maar wel op bijvoorbeeld degradatie van de stoomspiraal, of in het opgetreden geval van externe belasting, ongelijke grondzetting (indien ook daadwerkelijk inspecties op ongelijke grondzetting / settlement worden uitgevoerd).

De toegekende reductiefactoren worden in het navolgende kort toegelicht of gemotiveerd.





### Corrosie

Drie maatregelen hebben betrekking op voorkomen of het beperken van de oorzaak corrosie, te weten:

- Het aanbrengen van een corrosietoeslag: De corrosietoeslag in de constructie van de tanks zal een ruimere marge geven tussen het ontstaan van corrosie en het moment van zodanige verzwakking dat falen kan optreden. Dit biedt het bedrijf de tijd om de corrosie te ontdekken en tijdig te repareren. Een risicoreductiefactor  $RF = 0,5$  is een conservatieve waarde; dat wil zeggen dat de reductie in de praktijk groter kan zijn (en het risico dus lager zal zijn).
- Het toepassen van een RBI programma: Het introduceren van risk based inspection (RBI) betekent dat een inspectieprogramma wordt opgesteld en toegepast bestaande uit een plan waarin is opgenomen welke tank-onderdelen op welke lokaties met welk doel geïnspecteerd moeten worden, en met welke inspectietechniek, -omvang en -frequentie. Belangrijke uitgangspunten zijn een analyse van de potentiële degradatiemechanismen en een risico-analyse op component-niveau. Met een RBI-programma kunnen inspectie en onderhoud beter onderbouwd en afgestemd worden op de feitelijke noodzaak omdat het inzichtelijk maakt wat het effect is op het risico. Op basis van overwegingen zoals beschreven in Bijlage 4 is een hoge reductiefactor voor de oorzaak corrosie toegekend: een factor 10, ofwel  $RF = 0,1$ . Deze waarde moet volgens HIS Consult worden beschouwd als het maximaal haalbare effect en vereist het opstellen van een gedetailleerd inspectie- en onderhoudsprogramma teneinde deze effectiviteit te kunnen claimen; zie Bijlage 4.
- De maatregelen 'betonnen bodemplaat' en 'controle bodemdrain' dragen naar verwachting slechts beperkt bij aan verlaging van de faalkans door corrosie:  $RF = 0,9$ .

### Erosie

Erosie binnen de installaties is, gezien de aard van de opgeslagen stoffen, niet erg waarschijnlijk. Aan tijdige constatering door periodieke risk-based inspectie wordt daarom slechts een geringe kansreductie toegekend: de oorzaak is erg onwaarschijnlijk, dus er zal bij inspecties weinig rekening mee worden gehouden.

### Externe belasting

Falen door externe belasting (scheefzakken e.d.) kan worden voorkomen door plaatsing van de tank op een betonnen, met palen ondersteunde bodemplaat. TNO schat dat deze voorziening het risico met 75% zal verlagen, dus  $RF = 0,25$ . Wanneer de controle op de fundatie en de zetting van de tank en de tankbodem wordt geborgd in een goed inspectieprogramma (RBI) wordt een extra verlaging mogelijk geacht van  $RF = 0,25$ .

### Overdruk (door explosie)

Gezien de dominante invloed van het fenomeen "explosieve wolk + ontsteking" (20 van de 29 incidenten = 69%) is de potentiële effectiviteit van de maatregel "scheumaden" en "verdubbeling ventcapaciteit" van cruciaal belang voor de resulterende faalkans na maatregelen. In dat verband is het zinvol om voor de directe oorzaak "Overdruk door explosie" de onderliggende oorzaken en voorwaarden te analyseren in de foutenboom vlg. ref [2]; zie Figuur 6.1.

Hierin wordt duidelijk dat er voor optreden van een explosie aan de aanwezigheid van drie voorwaarden of condities moet worden voldaan: een brandbaar mengsel EN een ontstekingsbron EN het falen van de drukveiligheid. Op het moment dat die drie voorwaarden aanwezig zijn zal de voorgestelde maatregel “scheurnaden in combinatie met explosiedeksels” moeten voorkomen dat er een ongewenste drukopbouw plaatsvindt (Line of Defense). Er is een hoge factor  $RF = 0.1$  toegepast voor de effectiviteit van scheurnaden/explosiedeksels. De betrouwbaarheid van deze constructieve maatregelen om de omhulling op een gecontroleerde manier te laten falen wordt hoog ingeschat. N.B.: Oranjewoud gebruikte een generieke waarde van  $RF = 0.5$  voor alle overdruk situaties samen.

Overigens zal een maatregel “verdubbeling ventcapaciteit” in de situatie van explosie nauwelijks invloed hebben omdat zowel de capaciteit als de snelheid van reageren van de overdruk beveiliging(en) onvoldoende zal zijn voor de vrijwel instantane drukopbouw in geval van explosie. Daarom is voor deze maatregel geen reductiefactor op de oorzaak explosie toegekend.

#### Overdruk, door overige oorzaken

Instantaan falen van een tank is ook denkbaar bij een minder abrupte drukverhoging, zoals bij falen van een stoomspiraal of bij vullen met een verkeerde (bijv. vluchtige) stof. De overdruk kan in die gevallen worden afgevoerd via ventkleppen. Omdat deze in het BTT ontwerp dubbel zijn uitgevoerd wordt een vrij hoge reductiefactor realistisch geacht:  $RF = 0,25$ . Wanneer de ventkleppen niet functioneren of te kleine capaciteit hebben voor een snelle drukstijging, dan kan de druk alsnog vrijkomen door gecontroleerd falen van de tank via de scheurnaden. Omdat deze niet voor die situatie zijn bedoeld, wordt hieraan door TNO een geringere reductie toegekend dan voor explosies:  $RF = 0,25$ .

#### Onderdruk, door falen van een (bodem)leiding

Bij optreden van een onderdruk in de tank kan buitenlucht worden ingelaten via de ventkleppen. Evenals bij de overdruksituatie wordt hiervoor een reductiefactor van  $RF = 0,25$  toegepast. Een extra reductie wordt nog toegekend aan RBI: gerichte inspectie op zetting en scheefstand van de tank zal ook de kans op niet voorziene krachten op het leidingwerk verlagen. Voor RBI is een reductie toegekend van  $RF = 0,25$ .

#### Hoge temperatuur

Bij BTT worden situaties waardoor de temperatuur van de tankinhoud (sterk) zal oplopen niet denkbaar geacht. Er zijn dan ook geen risico reducerende maatregelen die gericht zijn op dit scenario.

#### Operatorfout

Operatorfouten zijn niet uit te sluiten. Zeer denkbare fouten liggen in het vullen of lossen van de tank: overvulling, verkeerde stof, etc. Het meest waarschijnlijke gevolg is dan overdruk waartegen de (dubbele) ventcapaciteit en de constructieve voorzieningen (scheurnaden) bescherming bieden. Verder kan een goed werkend VMS helpen operatorfouten te voorkomen. Aan alle drie maatregelen is een reductiefactor  $RF = 0,5$  toegekend.

N.B.: Overvulling is overigens in de RIVM inventarisatie [12] ingedeeld onder het scenario 'uitstroming in 10 minuten'.

#### Onderhoud

Incidenten tijdens, of als gevolg van onderhoudswerkzaamheden dienen door goed toezicht en een adequaat veiligheidsmanagementsysteem te worden voorkomen. BTT wil hieraan maximale aandacht besteden. Op basis van expert opinion is aan het VMS met certificering volgens OSHAS 18001 voor deze oorzaak een reductiefactor  $RF = 0,25$  toegekend.

Hierbij wordt wel opgemerkt dat een adequaat onderhoudssysteem ook door PGS29 vereist wordt. Onderhoudswerkzaamheden worden standaard uitgevoerd door bedrijven met gecertificeerde kwaliteitssystemen terwijl ook asset owners voor het inhuren van onderhoudsbedrijven gebruikelijk kwaliteitsprocedures hanteren. Om de toegekende reductiefactor ( $RF = 0,25$ ) te onderbouwen zal t.z.t. gespecificeerd moeten worden hoe 'PGS29 Plus' gerealiseerd gaat worden.

#### *6.4.2 Uitstroming in 10 minuten*

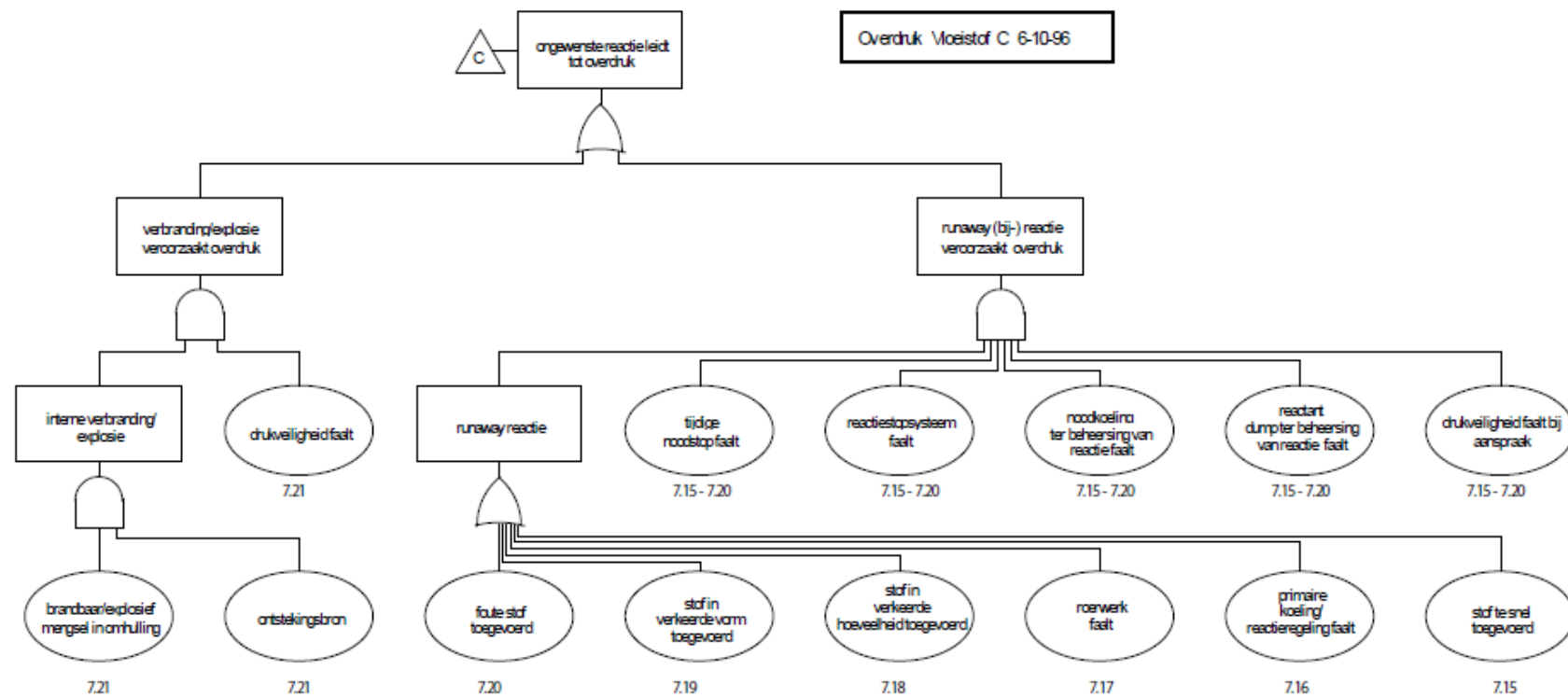
In Tabel 6.5 zijn de gecorrigeerde frequenties uitgewerkt voor het scenario 'uitstroming van de tankinhoud in 10 minuten'.

Voor het 10 minuten scenario grijpt de maatregel "Risk Based Inspection" sterk in op (voorkomen van) de oorzaken Corrosie en Externe Belasting (grondzetting). RBI heeft echter geen effect op overvullingsscenario's.

De verdubbeling van de ventilatiecapaciteit zal wel een sterke invloed op (falen door) de overvullingsscenario's hebben. Doordat de ventkleppen dubbel uitgevoerd worden kan de betrouwbaarheid hoog worden ingeschat.

Voor de reductiefactoren van de overige maatregelen gelden analoge overwegingen als voor het scenario 'instantaan falen'.

Aangezien het 10 minuten uitstroming scenario marginaal bijdraagt aan overtopping (zie ook Bijlage 2), is dit onderdeel hier niet in detail uitgewerkt.



Figuur 6.1: Foutenboom voor de directe oorzaak 'Ongewenste reactie leidt tot overdruk', uit PGS 6.



## 6.5 Resulterende faalfrequenties

Op basis van het voorgaande resulteren de volgende frequenties voor de scenario's die potentieel relevant zijn voor overtopping:

### 6.5.1 *Instantaan falen*

- a. Uitgaande van de voor BTT relevante directe oorzaken in de incidenthistorie bedraagt de basisfrequentie voor instantaan falen  $4,1 \times 10^{-6}$  /jaar;
- b. Getroffen constructieve en organisatorische voorzieningen om falen te voorkomen dan wel de effecten te beperken verlagen de frequentie van instantaan falen tot  $2,1 \times 10^{-7}$  /jaar. Het totale effect van risico reducerende maatregelen wordt daarmee geschat op een factor 20.

### 6.5.2 *Uitstroming in 10 minuten*

- a. Uitgaande van de voor BTT relevante directe oorzaken in de incidenthistorie bedraagt de basisfrequentie voor een grote uitstroming  $4,6 \times 10^{-6}$  /jaar;
- b. Getroffen constructieve en organisatorische voorzieningen om falen te voorkomen dan wel de effecten te beperken verlagen de frequentie van een grote uitstroming tot  $8,6 \times 10^{-7}$  /jaar. Het totale effect van risico reducerende maatregelen wordt daarmee geschat op circa een factor 5.





## 7 Conclusies

In dit onderzoek is een methodiek ontwikkeld voor de waardering van risico reducerende maatregelen en de verdeling van oorzaken van het falen van atmosferische opslagtanks. De methodiek is gemaakt in het kader van de beoordeling van milieurisico's en beoogt een aanvulling te zijn op een analyse met het rekenprogramma Proteus II van Rijkswaterstaat.

De methodiek is toegepast op de nieuwe inrichting van Botlek Tank Terminal in Rotterdam (BTT). Hierbij zijn de volgende frequenties berekend voor de scenario's die potentieel relevant zijn voor overtopping:

a) voor instantaan falen:

- Uitgaande van de voor BTT relevante directe oorzaken in de incidenthistorie bedraagt de basisfrequentie voor instantaan falen van een opslagtank  $4,1 \times 10^{-6}$  /jaar;
- Getroffen constructieve en organisatorische voorzieningen om falen te voorkomen dan wel de effecten te beperken verlagen de frequentie van instantaan falen tot  $2,1 \times 10^{-7}$  /jaar. Het totale effect van risico reducerende maatregelen wordt daarmee geschat op een factor 20.

b) voor uitstroming in 10 minuten:

- Uitgaande van de voor BTT relevante directe oorzaken in de incidenthistorie bedraagt de basisfrequentie voor een grote uitstroming uit een opslagtank  $4,6 \times 10^{-6}$  /jaar;
- Getroffen constructieve en organisatorische voorzieningen om falen te voorkomen dan wel de effecten te beperken verlagen de frequentie van een grote uitstroming tot  $8,6 \times 10^{-7}$  /jaar. Het totale effect van risico reducerende maatregelen wordt daarmee geschat op circa een factor 5.

De ervaringen met toepassing van de ontwikkelde methodiek voor de genoemde casus zijn positief. De methodiek kan verder worden uitgewerkt en wellicht worden geïmplementeerd in het Proteus II rekeninstrument.

De technische en constructieve maatregelen zijn in dit onderzoek specifiek benoemd en zullen bij de constructie en ingebruikname van de tanks ook verifieerbaar zijn.

Risicoreductie die is toegekend aan beheersmatige maatregelen, zoals inspectie, onderhoud en veiligheidsmanagement, dient nog uitgewerkt te worden. Bij de maatregel 'risk based inspection (RBI)' moet worden opgemerkt dat dit een koepelbegrip is en dat het alleen waardeerbaar zal zijn als het betreffende RBI-programma gespecificeerd wordt. Dit RBI-programma omvat de verzameling van inspectiemaatregelen die de soort inspectie, de omvang van de inspectie en de frequentie van inspectie detailleren.

Het verdient aanbeveling om de uitwerking van het RBI programma te beoordelen en de uitvoering ervan te monitoren. Hiermee moet aangetoond worden dat het voorgestelde RBI programma de beoogde effectiviteit van risicoreductie oplevert en de toegekende waardering ervan ook waarborgt.

Uit de incidenthistorie is verder geconcludeerd:

- Voor het scenario instantaan falen van de tank is de kans dat een spill van de opgeslagen stof optreedt die buiten de tankput treedt circa 20%. Deze bevinding kan echter niet (volledig) worden toegekend als een extra reductiefactor van 0,2 op de kans op overtopping. De risicoreductie is reeds gewaardeerd in de maatregelen ter voorkoming van de betreffende faalscenario's. Voor de generieke berekeningsmethodiek volgens Bevi kan deze conclusie wel aanleiding zijn tot een aanpassing van de frequentie van overtopping.
- Voor het scenario uitstroming in 10 minuten is de kans dat een spill van de opgeslagen stof optreedt die buiten de tankput treedt circa 7%. Met deze factor zou in de milieurisicoanalyse wel rekening gehouden kunnen worden.

## 8 Referenties

- [1] Ingenieursbureau Oranjewoud / Save, Milieurisicoanalyse Botlek Terminal; Hoofdstuk 8: Verantwoording risico's (revisie 5, april 2011)
- [2] PGS 6, "Aanwijzingen voor implementatie BRZO 1999", Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 6, VROM, 2006
- [3] RIVM. (2009). Reference manual BEVI risk assessments. v3.1, Jan 1st 2009. Centre for External Safety, Netherlands National Institute of Public Health and the Environment.
- [4] Purple Book, Guidelines for quantitative risk assessment, Committee for the Prevention of Disasters, CPR-18E, The Hague, The Netherlands, First edition, 1999.
- [5] Beerens, H. I., Post, J. G., & Uijt de Haag, P. A. M. (2006). The use of generic failure frequencies in QRA: the quality and use of failure frequencies and how to bring them up-to-date. *Journal of Hazardous Materials*, 130, 265-270.
- [6] Hans J. Pasman, "History of Dutch process equipment failure frequencies and the purple book", in *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 24, (2011).
- [7] COVO. (1982). COVO Commission, risk analysis of six potentially hazardous industrial objects in the Rijnmond area, a pilot study. A Report to the Rijnmond Public Authority, Central Environmental Control Agency, Schiedam, The Netherlands, 1981. Dordrecht, The Netherlands: D. Reidel Publishing Co, ISBN 90 2771393 6.
- [8] IPO, Guidelines for the preparation of Off-site Safety Industrial Sites, report IPO project A-73, Den Haag, 1994 (In Dutch)
- [9] P.A.M. Uijt de Haag, S. Mahesh, P.A.M. Heezen, A.G. Wolting (RIVM), J.E.A. Reinders, J.M. Ham (TNO), L. Vijgen (DCMR). "Op weg naar een protocol voor het waarderen van maatregelen in een kwantitatieve risicoanalyse". RIVM rapport 620001001 (2008).
- [10] P.A.M. Uijt de Haag, S. Mahesh, E.S. Kooi & L. Gooijer (CEV-RIVM), M.A.M. Heijne (Tebodin), "A method to evaluate technical measures in a Quantitative Risk Assessment for land-use planning", Presented at the International Loss Prevention Symposium, Brugge (B), (2010)
- [11] EEMUA 159, Users guide to the inspection, maintenance and repair of above-ground vertical cylindrical steel storage tanks. Engineering Equipment and Materials Users Association, Publication no. 159, London, third edition, 2003

- [12] R.A. Bos, "Incidentenanalyse atmosferische opslagtanks, Fase 1: Inventarisatie en Fase 2: Risicoreductie", Rapport Tebodin in opdracht RIVM (2008)
- [13] R. Pitblado, B. Bain, A. Falck, K. Litland, C. Spitzenberger. "Frequency data and modification factors used in QRA studies", in Journal of Loss Prevention in the Process Industries 24 (2011)
- [14] PGS 29, "Hazardous Substances Directive for aboveground storage of flammable liquids in vertical tanks" (in Dutch), Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen 29, VROM (2005)
- [15] R.W.J. Smulders. Email correspondentie "Besluiten en acties uit overleg MRA voor BTT, 7 juli 2011". Ingenieursbureau Oranjewoud, 18 juli 2011.
- [16] P. Wellens, G. Gerber. "Onderzoek naar overslag als gevolg van falen van verticale opslagtanks". Deltares, rapportnr. 1203189-000 (2010)

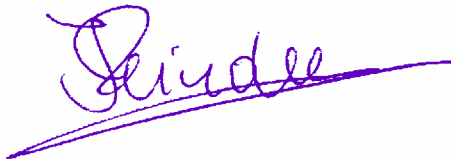
## 9 Verantwoording

Naam en adres van opdrachtgever:  
Rijkswaterstaat – Waterdienst / Emissiebeheer  
T.a.v. Ing. P. Kuiper  
Postbus 17  
8200 AA LELYSTAD

Namen van uitvoerders:  
Ing. J.M. Ham (projectleider)  
Ir. H. Boot (wetenschappelijk researchmedewerker)  
Ir. J.H.A.M. Heerings (HIS Consult B.V.)

Periode van uitvoering:  
Mei – Juli 2011

Naam en paraaf tweede lezer:



Dr. J.E.A. Reinders

Ondertekening:



Ing. J.M. Ham  
(Projectleider)

Autorisatie vrijgave:



Dr. Ir. N. Rosmuller  
(Research Manager)



## Bijlage 1: Incidenten met atmosferische opslag tanks

### Oorzaken instantaan falen atmosferische opslag tanks

Acc#	Direct Cause	Root cause	Substance	Spill	Outside bund
4	High temp.	Exotherm	Fuel (RDF)	-	-
35	High temp.	Exotherm	Bitumen	-	-
24	Corrosion	Product	Kerosene	-	-
34	High pressure	LFL + Ignit.source	Ethanol	+	-
5	High pressure	LFL + Ignit.source	Gasoline	-	-
9	High pressure	LFL + Ignit.source	t-Butyl peroxybenzoate	-	-
13	High pressure	LFL + Ignit.source	Ethyl acrylate	-	-
16	High pressure	LFL + Ignit.source	Waste oil	+	-
19	High pressure	LFL + Ignit.source	1-dodecane	-	-
20	High pressure	LFL + Ignit.source	Jet fuel	-	-
23	High pressure	LFL + Ignit.source	Toluene	-	-
26	High pressure	LFL + Ignit.source	Benzene	-	-
32	High pressure	LFL + Ignit.source	Ethanol	-	-
40	High pressure	LFL + Ignit.source	Methanol	+	+
42	High pressure	LFL + Ignit.source	Diesel	+	-
45	High pressure	LFL + Ignit.source	Methanol	-	-
46	High pressure	LFL + Ignit.source	Ethanol	?	?
51	High pressure	LFL + Ignit.source	Benzene	-	-
62	High pressure	LFL + Ignit.source	Acrylonitrile	-	-
68	High pressure	LFL + Ignit.source	Xylene	-	-
69	High pressure	LFL + Ignit.source	Fuel oil	+	-
71	External load	Design fault, weakened subsoil due to leakage of cooling	Sulphuric acid	+	+
72	High pressure	LFL + Ignit.source	Asphalt	+	+
75	High pressure	LFL + Ignit.source	Crude oil	+	+
28	High pressure	Steam coil	Ortho-cresol	+	+
8	High pressure	Wrong substance	Tri-ethanolamine	+	-
50	High pressure	Roll-over, density	Atmosph. Residue	+	+
70	High pressure	Roll-over, heating	Phosphoric acid	+	-
25	External load	Design fault, maintenance situation, differential settlement	Fuel oil	+	+
29 x				13 x	7 x

### Oorzaken “10 minuten uitstroming” atmosferische opslagtanks

Acc#	Direct Cause	Root cause	Substance	Spill	Outside bund
37	Corrosion	Water	Crude oil	+	+
58	Corrosion	Water	Crude oil	+	-
2	High pressure	Discharge blocked	Polytetrahydrofuran	-	-
11	High pressure	Substance wrongly fed	Waste oil	+	?
15	High pressure	Wrong substance	TDI	-	-
65	High pressure	Roll-over heated	Waste oil	?	?
1	High pressure	Overfill, much liquid	Ethanol	+	-
29	High pressure	Overfill, much liquid	Gasoline	+	-
36	High pressure	Overfill, much liquid	Fuel oil	+	+
47	High pressure	Overfill, much liquid	Petroleum products	+	+
55	High pressure	Overfill, much liquid	Motor spirit	+	-
66	High pressure	Overfill, much liquid	Crude oil	+	+
67	High pressure	Overfill, much liquid	Phenol	+	-
31	High pressure	Overfill, less space	Fuel oil	+	+
14 x				11 x	5 x

#### Betekenis van kleurcode

	= Incident werkelijk opgetreden (W)
	= Incident had kunnen optreden (P)
	= Bezwijken tankdak



## Bijlage 2: Optreden van spills bij falen van atmosferische opslagtanks

In paragraaf 4.2 van dit rapport is een samenvattend overzicht gegeven van de historie van tankfaalincidenten en van de situaties waarbij ook een spill van de tankinhoud had plaatsgevonden.

Op basis van deze inventarisatie zijn de volgende voorlopige conclusies te trekken over het optreden van spills. Hierbij zijn de (faal)frequenties niet gecorrigeerd voor eventuele (niet-)relevantie voor de BTT situatie of voor toepassing van maatregelen.

### A. Instantaan falen

In paragraaf 4.2 is geconcludeerd dat instantaan falen, met een basisfrequentie van  $5 \times 10^{-6}$  /jaar, in 44% van de gevallen leidt tot een spill. De fractie van de incidenten leidend tot een spill outside bund (overtopping) bedraagt daarvan de helft:  $p = 22\%$ .

In de bestaande risicoberekeningsmethodieken wordt ervan uitgegaan dat in alle gevallen van instantaan falen van een atmosferische tank ook overtopping zal plaatsvinden. Dit is duidelijk een conservatieve aanname. Op basis van de bevindingen uit de historie zou uitgegaan mogen worden van een overtoppingfrequentie van  $1,1 \times 10^{-6}$  /jaar. Dit is bijna een factor 5 lager dan toegepast voor generieke rekenmethode cf. Bevi.

Nadere beschouwing van de beschreven incidenten leert dat bij een groot deel van de als instantaan falen geregistreerde incidenten sprake was van falen van het tankdak, vaak als gevolg van een explosie binnen de tank. Hierbij treedt weinig of geen verlies van product naar buiten de tank op. Vergelijk het met het verwijderen van het deksel van een pan: de inhoud blijft binnen de omhulling.

Het maatregelenpakket van BTT omvat ondermeer het aanbrengen van scheurnaden in de tankwand, resp. langs het tankdak. Deze scheurnaden beogen het veilig openen van de tank te bevorderen, gelijk aan de bovenbeschreven situatie uit de incidenthistorie: behoud van (de wand van) de omhulling en voorkoming van een spill.

Het toekennen van een extra reductiefactor voor overtopping op basis van de uit de historie afgeleide lage fractie van spills outside bund, zou een dubbele waardering betekenen van de genoemde maatregel. Deze extra reductie wordt daarom niet meegenomen in het totaal oordeel van de frequentie van overtopping voor BTT. De bevinding kan echter wel een rol spelen bij aanpassingen van de Bevi rekenmethodiek. Voor de MRA methodiek betekent het negeren van deze bevinding dat de overtoppingrisico's wellicht worden overschat.

## B. Uitstroming in 10 minuten

Het 10 minuten scenario met een basisfrequentie van  $5 \times 10^{-6}$  /jaar leidt in 85% van de gevallen tot een spill. De fractie van de incidenten leidend tot een spill outside bund (en potentiële overtopping) bedraagt circa  $p = 0,4$ .

De historische data lijken de huidige aanname te weerspreken dat alleen een instantaan scenario tot overtopping kan leiden. Overigens is uit de incidentbeschrijvingen niet eenduidig af te leiden in hoeverre het scenario "overtopping" zoals in Proteus gebruikt wordt, equivalent is aan "spill outside bund" zoals dat bij 10 minuten scenario's blijkt voor te kunnen komen. Bij overtopping denkt men in eerste instantie aan "vloedgolf-achtige" verschijnselen waarbij door de impuls van de plotseling vrijgekomen tankinhoud een deel van het materiaal uit de tankput gestuwd wordt. Bij het continue scenario (10 minuten uitstroming) lijkt dit fenomeen niet erg waarschijnlijk. Wel is het mogelijk dat door de grote uitstroomsnelheid, gecombineerd met een niet verwaarloosbare uitstroomhoogte, een straal uiteindelijk (deels) buiten de tankput terecht komt. Voorwaarde is dan wel dat de tank relatief dicht bij de bundwand staat, en dat de uitstroming daadwerkelijk naar buiten gericht is. Daarnaast leert de historie dat een lek in de bund in combinatie met een overstroming voor een spill outside bund kan zorgen.

Omdat in het 10 minuten scenario volgens de huidige risicoberekeningsmethodiek van Bevi overtopping niet wordt beschouwd, maar volgens de historie toch niet mag worden verwaarloosd, zijn de betreffende 'spill outside bund' situaties bij de 4 continue releases nader geanalyseerd. Het resultaat van deze analyse luidt:

- Case 31: Er wordt in de beschrijving van dit incident nergens melding gemaakt van aanwezigheid van een bund. De beschrijving "propelled the jet fuel into the tank" suggereert een hoge snelheid uitstroming. Het betreft overpompen vanuit een semi-buried 1000 m<sup>3</sup> tank (dus geen bund?) in een kleinere bovengrondse tank met een veel te groot debiet.
- Case 36: De beschrijving onder "LoD's not available but prescribed: Water tightness pit area" suggereert dat hier sprake was van een niet-dichte bund.
- Case 47: Door een lekkage (overfilling) van een brandbare vluchtige vloeistof ontstond een gaswolkexplosie die andere tanks beschadigde. Dit cascade effect veroorzaakte uiteindelijk een leak outside bund.
- Case 66: Beschrijft een lekkage van ruwe olie (overfilling) die door een "floodwater" situatie buiten de raffinaderij terecht kwam (water overstromingsituatie). De raffinaderij was reeds uit bedrijf genomen (emergency shutdown) vanwege naderende overstroming.

Voor de conclusie over de faalmodi die voor topping (of: spill buiten de bund) relevant zijn, is de relatie met overvullen van de tank interessant. Uit de historische data (4 gevallen van spill op 14 incidenten) blijkt dit in twee gevallen een gevolg te zijn van een niet aanwezige of niet "waterdichte" tankput (bund). Daarnaast is in één van de 14 cases de spill het gevolg van een cascade effect (VCE) die andere tanks beschadigde. Omdat de bunds van alle andere tanks in de nabijheid aan dezelfde eisen moeten voldoen is deze root cause niet relevant.

Volgens deze analyse blijft voor BTT eigenlijk alleen het scenario “spill tijdens water overlast/overstromingsituatie” relevant. In de historie betreft dit 1 op de 14 gevallen.

Wanneer de lokale omstandigheden bij BTT in aanmerking worden genomen kan 1 op de 14 (7%) van de “10 minuten scenario's” voor een spil outside bund zorgen. Hiervoor zijn geen speciale maatregelen voorzien. De toppingfrequentie kan dan worden berekend door vermenigvuldiging van de gereduceerde frequentie van het scenario ‘uitstroming in 10 minuten’ ( $8,6 \times 10^{-7}$  /jaar) met de kans op ‘spill outside bund’ (1/14 ofwel  $p = 0,07$ ).

Dit zou leiden tot een frequentie van topping bij het groot lek scenario van  $6,2 \times 10^{-8}$  /jaar. Het lijkt redelijk om deze frequentiecorrectie in de beoordeling van het 10 minuten scenario mee te nemen.



## Bijlage 3: Beoordeling van de kansbeperkende maatregelen, rapport Oranjewoud (Rapportage HIS Consult)

Datum  
25 juli 2011

## Introductie

In het concept MRA, hoofdstuk 8.2, dat door Oranjewoud is opgesteld worden een aantal kansbeperkende maatregelen behandeld.

Contactpersoon  
J.H.A.M. Heerings

In onderhavige memo wordt een visie hierop gegeven vanuit de expertise op het gebied van metaalkundige degradatie en (Risk Based) inspectie.

Doorkiesnummer  
06 11402344Email  
heerings@hisconsult.com

## Opmerking 1

De tabel met de 11 basisoorzaken uit de RRZO'99, met hun relevantie voor instantaan falen, is niet compleet. De oorzaken scheefzakken, randzetting en differentiële wandzetting van de tank zijn daarin niet opgenomen, Wel is 'erosie van de aarde' opgenomen hetgeen een van de achterliggende oorzaken kan zijn van scheefzakken en rand- en wandzetting, maar hiermee is het nog niet volledig.

Deze 3 additionele oorzaken kunnen de volgende gevolgen hebben:

- Overbelasting van de hoekverbinding tussen wand en bodem met mogelijk gevolg scheurvorming;
- Versnelde corrosie van de bodem (annular) die kan leiden tot lokale lekkage;
- Vervormingen (plooien) van de wand dat mogelijk scheurvorming tot gevolg kan hebben;
- Buigende momenten van aansluitend leidingwerk met mogelijk gevolg scheurvorming dat in het ergste geval kan leiden tot afbreken van de leiding.  
Het is denkbaar dat het afbreken van een 'grote diameter leiding' tot gevolg heeft dat onderdruk in de tank ontstaat waardoor de wand ongecontroleerd kan vervormen (plooien) met het risico van instantaan openscheuren van de wand.

Nu kan men stellen dat deze bedreigingen zich d.m.v. goed onderhoud laten beheersen. Echter, dat neemt niet weg dat basisoorzaak 11 met een "ja" moet worden gelabeld als het gaat om de relevantie voor instantaan falen.

Conclusie:

De tabel met de 6 basisoorzaken voor instantaan falen, moet aangevuld worden met oorzaken 'buigende momenten' of met 'onderhoud'

## Opmerking 2

In de tabel met de 6 basisoorzaken voor instantaan falen en maatregelen staat voor de oorzaak "Corrosie" de maatregel "corrosietoeslag" genoemd.

Echter, het aanbrengen van een extra corrosietoeslag leidt alleen tot een verhoogde integriteit indien een goed inspectie en onderhoudsprogramma in gebruik is.

## Opmerking 3

In de tabel met de 6 basisoorzaken voor instantaan falen en maatregelen wordt voor een aantal oorzaken de maatregel "risk based inspection" genoemd als een maatregel die tot kansreductie leidt.. Echter, 'risk based inspection' betekent alleen dat het inspectieprogramma wordt gebaseerd op een risico-inschatting. Dit betekent niet per definitie dat de integriteit van afzonderlijke equipementdelen toeneemt. Verhoging van de integriteit kan alleen worden geclaimd als het inspectieprogramma is uitgedetailleerd in termen van inspectietechniek, inspectie-omvang en inspectiefrequentie en blijkt dat het inspectieprogramma intensiever is.

**Datum**  
25 juli 2011**Opmerking 4**

In de tabel met de 6 basisoorzaken voor instantaan falen en maatregelen wordt voor de oorzaken "externe belasting", "impact" en "operator fout" de maatregel "risk based inspection" genoemd als een maatregel die tot kansreductie leidt.

Dit is onjuist omdat 'risk based inspection' geen invloed heeft op toevallige gebeurtenissen die leiden tot een externe belasting (bijv. door storm of brand) of tot impact en evenmin op menselijk handelen van de operator.

**Contactpersoon**  
J.H.A.M. Heerings**Doorkiesnummer**  
06 11402344**Opmerking 5**

In opmerking 1 is geconcludeerd dat de tabel met de 6 basisoorzaken voor instantaan falen moet worden aangevuld met de oorzaken 'buigende momenten' of met 'onderhoud'. In beide gevallen zou de maatregel "risk based inspection" kunnen leiden tot kansreductie en is opmerking 3 van toepassing, namelijk dat dit op voorwaarde is dat de maatregel "risk based inspection" wordt uigedetailleerd.

**Email**  
heerings@hisconsult.com**Opmerking 6**

In de tabel in de passage onder het kopje "Semi-kwantificering van de kansreductie" staan reductiefactoren vermeld. In overeenstemming met opmerking 4 moeten de reductiefactoren voor de maatregel "risk based inspection" op nul worden gesteld voor de oorzaken "externe belasting", "impact" en "operator fout"

**Opmerking 7**

De kwantificering van de reductiefactoren kan (mede) worden gebaseerd op de weegfactoren die in EEMUA 159 worden gebruikt.

Datum  
25 juli 2011

### Bijlage 1 Relatief aandeel van de 11 basisoorzaken

Ter informatie wordt hier een kwantitatieve inschatting gegeven van het relatieve aandeel van de verschillende basisoorzaken die vermeld zijn in de tabel met de 11 basisoorzaken uit de RRZO'99, met hun relevantie voor instantaan falen.

Contactpersoon  
J.H.A.M. Heerings

Doorkiesnummer  
06 11402344

Uit eigen ervaring / onderzoek (niet gepubliceerd) komt naar voren dat:

- Een 'falende integriteit' van proces-equipment (bijv. corrosie, overbelasting) is oorzaak van 35% van de milieu-incidenten in de chemische industrie.
- Een 'falende integriteit' wordt in een kwart tot de helft van de gevallen veroorzaakt door onvoldoende of foutief onderhoud. Dit gegeven gecombineerd met de 35% hierboven, leidt tot de conclusie dat onvoldoende of foutief onderhoud oorzaak is van 9-17% van de milieu incidenten.

Email  
heerings@hisconsult.com

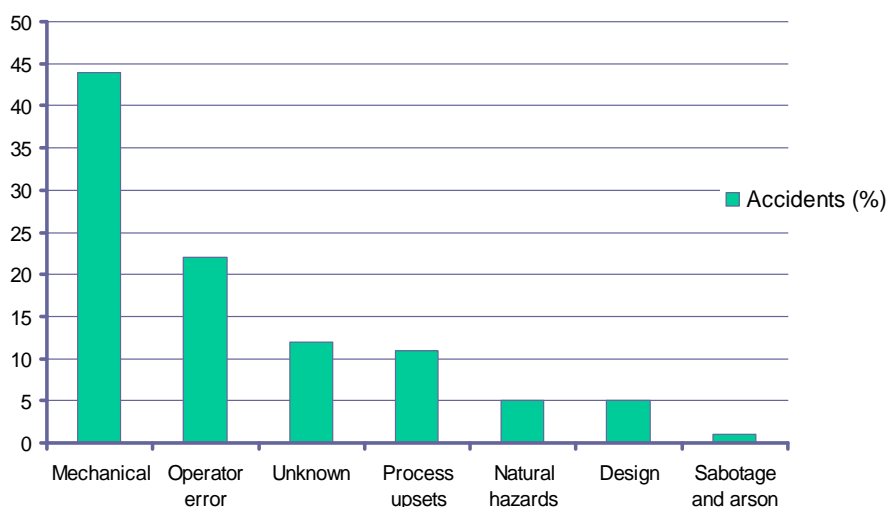
Als we deze informatie terugvertalen naar de 11 basisoorzaken dan betekent dit dat:

1. Basisoorzaak 11 (onderhoud) is verantwoordelijk voor 9-17% van de incidenten;
2. De som van de basisoorzaken 1 (corrosie), 2 (erosie), 9 (trillingen) en 11 (onderhoud) is verantwoordelijk voor 35% van de incidenten.

Een andere bron is de publicatie "Large property damage losses in the hydrocarbon-chemical industries: A thirty-year review", Marsh & McLennan, 1998. Dit review is gebaseerd op 150 incidenten in de (petro-)chemische industrie in de periode van 1959 tot 1988.

Hieruit blijkt dat "Mechanical" falen in 44% van de incidenten als oorzaak kan worden aangemerkt, zie figuur 1.

Deze categorie (Mechanical) komt in termen van de 11 basisoorzaken overeen met de verzameling van oorzaken 1, 2, 9 en 11 ofwel: corrosie, erosie, trillingen en onderhoud.



Figuur 1 Het relatieve aandeel van oorzaken van ongelukken in de chemische industrie.



## Bijlage 4: Beoordeling van constructieve maatregelen volgens EEMUA 159 (Rapportage HIS Consult)

### **Onderscheid constructieve en niet-constructieve faalmechanismen**

De beoordeling van de effectiviteit van risicoreducerende maatregelen kan worden uitgevoerd door een ontwerpbeoordeling en een evaluatie van levensduur beïnvloedende factoren zoals periodieke inspectie en preventief / correctief onderhoud. Methodieken en technieken zijn beschikbaar om deze factoren kwalitatief en semi-kwantitatief in een reductie van faalkansen uit te drukken, bijvoorbeeld door een ontwerpbeoordeling op basis van EEMUA 159. In de EEMUA publicatie 159 [11] wordt een aanpak beschreven voor 'probabilistic preventive maintenance', ofwel het optimaliseren van inspectie- en onderhoudsprogramma's op basis van een risico-benadering. Deze aanpak bestaat uit twee hoofdbestanddelen, t.w. een RBI-methodiek (Risk Based Inspection) en een RCM-methodiek (Reliability Centred Maintenance).

De RBI-methodiek wordt toegepast op de inspectie-gedreven degradatiemechanismen, d.w.z. degradatiemechanismen die d.m.v. inspecties kunnen worden gedetecteerd en/of gevolgd. In de EEMUA richtlijn is RBI zelfs beperkt tot enkel de trendbare degradaties corrosie en zettingen. De richtlijn stelt dat RBI betrekking heeft op de constructieve integriteit van de tank. De RCM-methodiek daarentegen wordt toegepast op degradaties die betrekking hebben op de functionele integriteit van componenten (kleppen, rotating, kathodische bescherming, trappen, etc.).

De EEMUA159 richtlijn behandelt de constructieve aspecten van een tank, maar geeft geen informatie op het gebied van procesregelingen, operatorfouten of onverwachte gebeurtenissen zoals storm en brand. Dit betekent dat met deze publicatie niet de volledige problematiek van risicobeheersing van instantaan falen kan worden behandeld.

In kwantitatieve risicoanalyses (ook voor milieurisico's) worden de beschouwde faalsituaties (loss of containment) en faalfrequenties veelal gedomineerd door niet-constructieve bedreigingen, zoals operatorfouten, falen van procesregelingen, overvulling of externe belasting. De milieurisico's van BTT worden bepaald door overtopping van de uitstroming van een opslagtank. Deze overtopping komt, volgens de benadering in de MRA, alleen voor in samenhang met het instantaan vrijkomen van de gehele tankinhoud.

Een evaluatie van catastrofale incidenten [12] met atmosferische opslagtanks laat zien dat de oorzaak van instantaan falen meestal in een plotseling optredende (= niet-constructieve) gebeurtenis gevonden wordt.

Voor het voorkomen van dergelijke niet-constructieve faalmechanismen is de EEMUA 159 RBI-methodiek niet geschikt. De RBI methodiek in EEMUA 159 ziet vooral op zogenaamde trendbare faalmechanismen: faaloorzaken die zich met verstrijken van de levensduur van installaties en apparatuur manifesteren, zoals corrosie en zettingen, die vooral met de constructieve aspecten van het ontwerp en het onderhoud daarvan te maken hebben. Een ontwerpbeoordeling tegen de eisen van EEMUA 159 geeft ook inzicht in de kwaliteit van het ontwerp en het beheer, alsmede het voldoen aan de huidige stand der techniek.

Datum  
17 aug 2011**Introductie**

In de EEMUA publicatie 159<sup>1</sup> wordt een aanpak beschreven voor 'probabilistic preventive maintenance', ofwel het optimaliseren van inspectie- en onderhoudsprogramma's op basis van een risico-benadering.

Deze aanpak bestaat uit twee hoofdbestanddelen, t.w. een RBI (Risk Based Inspection)-methodiek en een RCM-methodiek (Reliability Centred Maintenance). De RBI-methodiek wordt toegepast op inspectie-gedreven degradatiemechanismen, d.w.z. degradatiemechanismen die d.m.v. inspecties kunnen worden gedetecteerd en/of gevolgd. Hoewel RBI-methodieken in het algemeen niet beperkt zijn tot trendbare degradatiemechanismen, is de RBI-methodiek in de EEMUA richtlijn wel beperkt tot enkel de trendbare degradaties corrosie en zettingen. In de richtlijn wordt gesteld dat RBI betrekking heeft op de constructieve integriteit van de tank.

De RCM-methodiek daarentegen wordt toegepast op degradaties die betrekking hebben op de functionele integriteit (i.p.v. de constructieve integriteit) van componenten zoals kleppen, rotating equipment, trappen, etc.

Contactpersoon  
J.H.A.M. HeeringsDoorkiesnummer  
06 11402344Email  
heerings@hisconsult.com

In de RBI-methodiek van de EEMUA 159-richtlijn worden diverse maatregelen en situaties op een kwantitatieve wijze gewaardeerd. Het resultaat hiervan is een (kwantitatieve) score voor de faalkans (uitgedrukt in score-punten) die weer leidt tot een bepaalde duur voor de inspectietermijn. Omdat aan de verschillende maatregelen een bepaald aantal scorepunten worden toegekend, biedt deze RBI-methodiek een basis voor een kwantitatieve analyse van de (relatieve) effectiviteit van de maatregelen.

Tevens dient opgemerkt dat de methodiek/ EEMUA richtlijn is samengesteld door een collectief van asset owners en dus niet een commercieel product is. Ook in de Nederlandse regelgeving (PGS 6) wordt hiernaar verwezen waarmee het draagvlak van de methodiek wordt onderstreept.

Voor een goed begrip van onderstaande analyse is grondige kennis van de EEMUA 159-richtlijn vereist. Degenen die niet over deze kennis beschikken worden daarom verwezen naar de conclusies.

**Aanpak van de beoordeling**

Voor de beoordeling van de effecten van diverse constructieve maatregelen en situaties zijn in de EEMUA 159 diverse modules opgenomen. In de eerste plaats zijn er aparte modules voor diverse componenten zoals bodem, wand en dak. Voor elk van deze componenten moeten steeds 2 complementaire submodules worden doorlopen:

- A. Een module ter bepaling van de faalkans
- B. Een module ter bepaling van de inspectietermijn (correctie van de betrouwbaarheidsfactor).

Hiernavolgend worden beide submodules behandeld waarbij het doel is om het effect te kwantificeren van diverse maatregelen op de faalkans.

**A. Bepaling van de faalkans**

Hoewel in de richtlijn aparte modules zijn opgenomen voor de componenten bodem, wand en dak wordt in deze analyse volstaan met de module voor de bodem. Deze module betreft echter veel maatregelen die ook van toepassing zijn op de andere componenten.

---

<sup>1</sup> EEMUA 159, Users guide to the inspection, maintenance and repair of above-ground vertical cylindrical steel storage tanks. Engineering Equipment and Materials Users Association, Publication no. 159, London, third edition, 2003

**Datum**  
17 aug 2011

Voor algemene corrosie en pitting van de bodem worden in de richtlijn de volgende maatregelen in beschouwing genomen:

- Kathodische bescherming
- Opperingsanode
- Inwendige coating
- Uitwendige coating
- Opslagconditie
- Bodemtype
- Stoomspiraal
- Product corrosiviteit
- Fundatietype
- Fundatiehoogte
- Drainage

**Contactpersoon**  
J.H.A.M. Heerings

**Doorkiesnummer**  
06 11402344

**Email**  
heerings@hisconsult.com

Voor elk van deze maatregelen dient een keuze uit een aantal opties (meestal 3) te worden gemaakt met daaraan gekoppeld een score die varieert tussen 0 en 2 punten.

Vervolgens wordt per maatregel een weegfactor in rekening gebracht die is voorgeschreven in de EEMUA 159, zie tabel 1

Tabel 1 Maatregelen ter kwantificering van de faalkans voor de tankbodem

	<b>Maatregel</b>	<b>Weegfactor</b>	<b>Type maatregel</b>
1.	Kathodische bescherming	2	Onderhoud
2.	Opperingsanode	1	Ontwerp + onderhoud
3.	Inwendige coating	3	Ontwerp + onderhoud
4.	Uitwendige coating	2	Ontwerp + onderhoud
5.	Opslagconditie Bodemtype Stoomspiraal	2 op de som van de drie factoren gedeeld door 2,5	Bedrijfsvoering Ontwerp Ontwerp
6.	Productcorrosiviteit	4	Bedrijfsvoering
7.	Fundatietype	5	Ontwerp
8.	Fundatiehoogte	2	Ontwerp
9.	Drainage	3	Ontwerp + onderhoud

De faalkans wordt uitgedrukt met de grootheid 'probability factor' die een maat is voor de 'probability rating', die de (kwalitatieve) positie in de risicomatrix weergeeft. De 'probability factor' wordt bepaald met de volgende formule:

$(2x[1] + 1x[2] + 3x[3] + 2x[4] + 2x[5]/2,5 + 4x[6] + 5x[7] + 2x[8] + 3x[9]) / 9$  waarbij [x] verwijst naar het nummer van de betreffende maatregel in tabel 1.

In tabel 2 wordt de vertaalslag van de 'probability factor' naar de 'probability rating' gemaakt waarbij vier klassen voor de probability rating worden gehanteerd (afkomstig uit EEMUA 159).

**Datum**  
17 aug 2011

Om het effect van een bepaalde maatregel op de faalkans kwantitatief te bepalen, zijn eerst in de derde kolom van tabel 2 de delta's in de probability factor (voor elk niveau van de probability rating) berekend op basis van de getallen in de eerste kolom.

**Contactpersoon**  
J.H.A.M. Heerings

Uit de vergelijking van de derde en vierde kolom van tabel 2 kan nu heel globaal afgeleid worden dat per faalkanscategorie de range van een factor 10 overeenkomt met een delta in de probability factor van ongeveer 0,5.

**Doorkiesnummer**  
06 11402344

Omdat de probability factor is berekend uit het gemiddelde van de som van 9 afzonderlijke scores (voor elk van de 9 maatregelen), komt de delta van 0,5 in de probability factor overeen met een delta in de som van scorepunten die 9x groter is, dus 4,5. Afhankelijk van de weegfactor die van toepassing is voor een bepaalde maatregel komt de delta van 4,5 in de som overeen met een grotere of kleinere delta voor een specifieke, afzonderlijke maatregel.

**Email**  
heerings@hisconsult.com

Tabel 2 Koppeling van de puntenscores voor de probability factor met de faalkans.

Probability factor	Probability rating	Berekende delta voor de probability factor	Gebruikelijke faalkans-range (1)
3,00 – 5,33 (2)	High	2,33 punten	van $10^{-1}$ tot $10^{-2}$
2,50 – 3,00	Medium	0,50 punten	van $10^{-2}$ tot $10^{-3}$
2,15 – 2,50	Low	0,35 punten	van $10^{-3}$ tot $10^{-4}$
< 2,15	Negligible	n.v.t.	van $10^{-4}$ tot $10^{-5}$

- (1) De waarden voor de 'gebruikelijke faalkansranges' zijn niet afkomstig uit EEMUA 159, maar zijn gebaseerd op diverse bronnen waarin een bepaalde RBI-methodiek voor procesequipment gepresenteerd wordt. Het gaat hierbij niet om de exacte waarden maar om de ordegrrootte van de range over de totale schaal van meest lage naar meest hoge faalkanscategorie. Deze range loopt van  $10^{-1}$  tot  $10^{-4}$  tot  $10^{-5}$  en ligt dus tussen een factor 10.000 en 100.000.  
Note: de faalkansgetallen zijn groter dan die op basis van casuïstiek bekende incidenten. Dit wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van allerlei maatregelen om te voorkomen dat falen van de equipment leidt tot een incident.
- (2) De maximale waarde van 5,33 voor de probability factor is niet afkomstig uit de EEMUA159 maar is toegevoegd aan tabel 2. De maximale waarde voor de 'probability factor' is berekend volgens:  

$$(2 \times 2 + 1 \times 2 + 3 \times 2 + 2 \times 2 + 2 \times 5/2,5 + 4 \times 2 + 5 \times 2 + 2 \times 2 + 3 \times 2) / 9 = 5,33$$

In tabel 3 is aangegeven hoe groot de delta is voor een specifieke maatregel, die overeenkomt met een factor 10 in de faalkans. De verschillende maatregelen zijn hierbij benoemd op basis van de waarde voor de weegfactor. Het verband tussen de delta en de weegfactor is omgekeerd evenredig.

Tabel 3 Koppeling van de puntenscores voor afzonderlijke maatregelen met de faalkans

Maatregel met weegfactor	Delta in de score van een specifieke maatregel, die overeenkomt met een factor 10 in de faalkans
1	4,50 punten
2	2,25 punten
3	1,50 punten
4	1,12 punten
5	0,90 punten

Dus voor een maatregel met een kleine weegfactor komt een factor 10 in de faalkans overeen met een grotere delta in punten. Omdat voor elke maatregel het verschil tussen meest slechte situatie en meest gunstige situatie meestal exact 2 punten bedraagt (onafhankelijk van de weegfactor), kan geconcludeerd worden dat per maatregel het maximale verschil in situaties (meest gunstig en slecht) een effect op de faalkans heeft zoals aangegeven in tabel 4.

**Datum**  
17 aug 2011

**Contactpersoon**  
J.H.A.M. Heerings

**Doorkiesnummer**  
06 11402344

Tabel 4 Effect van maximale variatie van een specifieke maatregel op de faalkans

Maatregel met weegfactor	Effect van het maximale verschil (= 2 scorepunten) van een specifieke maatregel op de faalkans
1	10 tot de macht (2 / 4,50) ~ Factor 2,8
2	10 tot de macht (2 / 2,25) ~ Factor 7,7
3	10 tot de macht (2 / 1,50) ~ Factor 21
4	10 tot de macht (2 / 1,12) ~ Factor 61
5	10 tot de macht (2 / 0,90) ~ Factor 167

**Email**  
heerings@hisconsult.com

In tabel 4 is het maximale effect berekend per type maatregel. Echter, het is gebruikelijk dat al een zeker niveau van maatregelen aanwezig is conform ontwerp- en constructienormen evenals inspectievoorschriften. Kortom, in een normale situatie, indien geen extra maatregelen genomen zijn, zal al een zeker niveau van beheersing tengevolge van deze maatregelen bereikt zijn. Het is daarom realistisch te veronderstellen dat de nog beschikbare verbeterruimte van eventuele extra maatregelen minder groot is dan de maximale effecten die in tabel 4 zijn gegeven.

In tabel 5 is een indicatie van de nog beschikbare en dus haalbare verbeterruimte gegeven door de maximale effecten voor elke maatregel met een factor 3 te delen. De factor 3 is een arbitraire waarde zonder modelmatige of andere onderbouwing en geeft dus slechts een zeer globale benadering.

Tabel 5 Effect van nog haalbare verbetering van een specifieke maatregel op de faalkans

Maatregel met weegfactor	Effect van het <u>maximale</u> verschil (= 2 scorepunten) op de faalkans, afkomstig uit tabel 4	Indicatief effect van <u>nog haalbare verbetering</u> op de faalkans
1	Factor 2,8	Factor 2,8 / 3 ~ Factor 1
2	Factor 7,7	Factor 7,7 / 3 = Factor 2,6
3	Factor 21	Factor 21 / 3 = Factor 7
4	Factor 61	Factor 61 / 3 = Factor 20
5	Factor 167	Factor 167 / 3 = Factor 56

Uit dit resultaat blijkt in de eerste plaats dat verbetermaatregelen een significant effect kunnen hebben. Daarnaast blijkt er ook een groot verschil te zijn in de effectgrootte: bepaalde maatregelen hebben een gering effect in de ordegrrootte van ongeveer een factor 1 (exact factor 1 geeft geen enkel effect) terwijl andere een groot effect hebben, t.w. in de ordegrrootte van een factor 56. Het effect van een specifieke maatregel op de faalkans kan dus sterk variëren.